



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE REVEGETACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS PARA LA
REHABILITACIÓN AMBIENTAL EN EL SANTUARIO DE
LA NATURALEZA QUEBRADA DE LA PLATA, REGIÓN
METROPOLITANA

Informe Final Práctica Profesional para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SABINA BELÉN MADARIAGA CATALÁN

Profesor Guía: Sr. Eduardo Martínez Herrera, Ing. Forestal,
Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias
Colaborador: Sr. Mauricio Lemus Vera, Ing. Forestal

Santiago, Chile 2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES DEPARTAMENTO DE
SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE REVEGETACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS PARA LA
REHABILITACIÓN AMBIENTAL EN EL SANTUARIO DE LA
NATURALEZA QUEBRADA DE LA PLATA,
REGIÓN METROPOLITANA

Informe Final Práctica Profesional para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SABINA BELÉN MADARIAGA CATALÁN

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Eduardo Martínez Herrera	6,8
Prof. Consejero Dr. Mario Gallardo Peña	6,5
Prof. Consejero Dr. Jorge Pérez Quezada	6,4

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos cordiales a la empresa Biocys por darme la oportunidad de realizar mi práctica profesional, darme todas las facilidades y recursos para llevar a cabo mi proyecto, al Sr. Mauricio Lemus, Ingeniero Forestal y Gerente General de Biocys, por su apoyo y su motivación desde el comienzo a querer incluir a estudiantes de mí misma situación dentro de la empresa. También quería agradecer a todos los trabajadores y empleados de la empresa, especialmente a la profesional Riguey Valladares por ser mi tutora y de esta manera aportar con sus conocimientos y comentarios a mi proyecto, el cual se pudo desarrollar con éxito durante el 2021. Agradecimientos a los profesionales Liliana Tapia, Nico Calderón, Roy Leonardo por sus comentarios y enseñanzas para el mejoramiento de mi proyecto y otros temas relacionados a la profesión. Finalmente, agradecer a trabajadores y compañeros quienes me dieron su tiempo y me acompañaron a terreno a tomar datos.

Agradecer a mi profesor guía, Eduardo Martínez, Ingeniero Forestal, por su apoyo a la realización de esta práctica profesional a pesar de tener sus propios proyectos y un gran número de estudiantes a cargo, también por su vocación y la constante preocupación de cada uno de sus estudiantes, para que puedan completar con éxito este proceso. A mi profesor consejero, Jorge Pérez Quezada, Ingeniero Agrónomo, quien me presentó el proyecto Plan Piloto de Restauración de Quebrada de la Plata, GEF, colaborando con instrumentos, materiales y comentarios para el proyecto.

Además, agradecer a trabajadores del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, quienes nos permitieron el fácil ingreso y nos colaboraron con su buena disposición al retiro de residuos de protectores Shelters.

Finalmente, agradecer a mi familia y amigos quienes me entregaron su constante apoyo, alegría y motivación para poder terminar este proceso de la mejor manera, sin su apoyo esto no hubiese sido posible.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1	Área de estudio.....	4
2.2	Consultora ambiental Biocys.....	5
2.3	Estado del arte en prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de áreas degradadas en ambientes semiáridos arte.....	5
2.4	Plan Piloto de Restauración de Santuario Natural Quebrada de la Plata, GEF.....	6
2.4.1	Ensayo de Control de Erosión.....	6
2.4.2	Ensayo de revegetación.....	12
2.5	Propuestas de mejoras a la gestión de las prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental en la empresa Biocys	18
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1	Estado del arte sobre prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de áreas degradadas en ambientes semiáridos	19
3.2	Monitoreo ensayo de erosión perteneciente al proyecto GEF corredores biológicos de montaña	34
3.2.1	Promedio de la erosión y sedimentación media neta de las mediciones históricas efectuadas.....	34
3.2.2	Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los bloques en las mediciones históricas efectuadas	35
3.2.3	Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los tratamientos en las mediciones históricas efectuadas	36
3.2.4	Erosión y sedimentación media neta de los bloques en cada medición efectuada	37
3.2.5	Erosión y sedimentación media neta de las obras de conservación de suelo en cada medición efectuada	38
3.2.6	Discusión de los resultados del ensayo de erosión	39
3.3	Monitoreo ensayo de revegetación perteneciente al proyecto GEF corredores biológicos de montaña.....	41
3.3.1	Sobrevivencia por tratamientos.....	41
3.3.2	Sobrevivencia por especies	42
3.3.3	Sobrevivencia de especies por tratamientos.....	43
3.3.4	Vitalidad por tratamientos.....	44
3.3.5	Vitalidad por especies	44
3.3.6	Altura promedio por tratamientos	45

3.3.7	Altura promedio por especies.....	46
3.3.8	Altura promedio por especies y tratamientos en el tercer monitoreo (2021).	47
3.3.9	DAC promedio por tratamientos.....	47
3.3.10	DAC promedio por especies	48
3.3.11	DAC promedio por especies y tratamientos.....	49
3.3.12	Análisis y discusión resultados ensayo de revegetación.....	50
3.4	Propuestas de mejoras a la gestión de las prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental en la empresa Biocys	52
3.4.1	Propuesta I: Formulario para el muestreo y descripción de suelos.....	52
3.4.2	Propuesta II: Formularios digitales	53
3.4.3	Propuesta III: Almacenamiento de bibliografía en nube.....	53
3.4.4	Propuesta IV: Disponibilidad de instrumentos de medición.....	54
3.4.5	Propuesta VI: Listado con posibles investigaciones derivadas de los proyectos de conservación de suelos y aguas ejecutadas por Biocys.....	55
4	CONCLUSIONES	56
5	BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS		63
I.	Formulario para el monitoreo de ensayo de control de erosión	63
II.	Formulario para el monitoreo de ensayo de revegetación.....	65
APÉNDICE.....		67
I.	Análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre mediciones, tratamientos y bloques de las mediciones históricas efectuadas.....	67
II.	Análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre bloques y tratamientos en la quinta medición.....	68
III.	Análisis estadístico de sobrevivencia por tratamientos y especies en la quinta medición.....	69
IV.	Análisis estadístico de vitalidad por tratamientos en la quinta medición.....	71
V.	Análisis estadístico de vitalidad por especies en la quinta medición	71
VI.	Análisis estadístico de altura promedio por tratamientos y especies en la quinta medición.....	72
VII.	Análisis estadístico de DAC promedio por tratamientos y especies en la quinta medición.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Palabras claves para llevar a cabo el estado del arte.	6
Cuadro 2. Descripción de la implementación de los métodos de revegetación.	14
Cuadro 3. Especie, número de plantas, origen y vivero de las plantas utilizadas en el ensayo de revegetación.....	15
Cuadro 4. Riego aplicado al ensayo de revegetación.....	15
Cuadro 5. Obras del Cauce (quebradas y cárcavas) (Navarro <i>et al.</i> , 2001).	22
Cuadro 6. Obras de Ladera (Navarro <i>et al.</i> , 2001).	23
Cuadro 6. Obras de Ladera (Navarro <i>et al.</i> , 2001).	24

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Cartografía Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración propia. Fuente: BCN (2019).	5
Figura 2. Cartografía de localización de Ensayo de Control de Erosión en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración Propia. Fuente: BCN (2019).	7
Figura 3. Métodos de control de erosión utilizados: 1. Sacos rellenos de suelo, 2. Fajinas en ramas, 3. Cubierta superficial con ramas y 4. Cubierta superficial con malla.	8
Figura 4. Diseño de ensayo de control de erosión y distribución de los clavos.	9
Figura 5. Fotografía en terreno de distribución de clavos de erosión en Ensayo n°2 tratamiento de cubierta superficial de ramas.	10
Figura 6. Figura y fotografías en terreno de la forma correcta para la medición de clavos de erosión.	10
Figura 7. Cartografía del ensayo de revegetación en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración propia.	12
Figura 8. Diseño de ensayo de revegetación.	13
Figura 9. Métodos de revegetación utilizados.	14
Figura 10. Forma correcta de medición del DAC y altura.	16
Figura 11. Clasificación de obras de control de erosión (Francke <i>et al.</i> , 2004).	21
Figura 12. Canal de desviación (MMAyA, s.f.)	25
Figura 13. Secuencia de imágenes que muestran la acumulación de sedimentos en un dique luego de las lluvias (Navarro <i>et al.</i> , 2001).	26
Figura 14. Zanjas de infiltración (MMAyA, s.f.)	27
Figura 15. Tipos de terrazas más utilizados: terrazas individuales, terrazas angostas y terrazas de banco (MMAyA, s.f.)	28
Figura 16. Tratamiento lineal de fajinas en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.	29
Figura 17. Tratamiento lineal de sacos en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.	29

Figura 18. Cubierta superficial con ramas en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata.	30
Figura 19. Tratamiento de cubierta superficial con malla en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.	31
Figura 20. Tratamiento de control de taludes mediante muros de neumáticos en fase de estabilización y sacos rellenos (Francke <i>et al.</i> , 2004).	31
Figura 21. Secuencia de imágenes que muestran la efectividad de la hidrosiembra (Francke <i>et al.</i> , 2004).	32
Figura 22. Zanjas de infiltración (microembalses). Fotografía tomada por Guillermo Navarro en Pumanque Secano interior, Región de O'Higgins (Martínez y Lemus, 2005).	33
Figura 23. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de las mediciones históricas efectuadas.	34
Figura 24. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los bloques en las mediciones históricas efectuadas.	35
Figura 25. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los tratamientos en las mediciones históricas efectuadas.	36
Figura 26. Erosión y sedimentación media de los bloques en cada medición efectuada.	37
Figura 27. Erosión y sedimentación media de los tratamientos en cada medición efectuada.	38
Figura 28. Supervivencia (%) por tratamiento en tres períodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.	41
Figura 29. Supervivencia (%) por especies en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.	42
Figura 30. Supervivencia (%) de especies por tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019, 2020 y 2021).	43
Figura 31. Cantidad de plantas por vitalidad (%) en cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021).	44
Figura 32. Cantidad de plantas por vitalidad (%) en cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021).	45

Figura 33. Altura promedio (cm) de cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019, 2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.	45
Figura 34. Altura promedio (cm) de cada especie en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento con efectividad intermedia. Letra C: tratamiento más efectivo.	46
Figura 35. Altura promedio (cm) de cada especie por tratamientos en el tercer monitoreo (2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.	47
Figura 36. DAC promedio (mm) de cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.	48
Figura 37. DAC promedio (mm) de cada especie en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B y C: tratamiento con efectividad intermedia. Letra D: tratamiento más efectivo.	49
Figura 38. DAC promedio (mm) de cada especie por tratamientos en el tercer monitoreo (2021). Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento con efectividad intermedia. Letra C: tratamiento más efectivo.	50

RESUMEN

El Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata en el año 2016, fue afectado por un extenso incendio forestal. Posterior al suceso se llevó a cabo el Plan Piloto de Restauración, con el objetivo de llevar a cabo acciones de restauración en el Santuario. Bajo este contexto, el objetivo general de esta práctica profesional es evaluar las técnicas de revegetación y conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental del Santuario.

Se documentó el estado del arte sobre prácticas de conservación de suelos y aguas en ambientes semiáridos, haciendo una recopilación de información de los estudios que se han llevado a cabo sobre las diferentes obras. Se clasificaron las obras según su objetivo: regular el flujo hídrico, controlar los sedimentos, controlar la escorrentía superficial y estabilizar terrenos erodables.

Mediante el monitoreo del ensayo de erosión se obtuvo que el suelo del Santuario presentó erosión en cinco mediciones efectuadas. El comportamiento de la erosión y sedimentación media neta a través de las mediciones y entre bloques es dinámico, lo que se explica a que existen diferentes factores que condicionan la erosión del suelo y también debido a que las obras se encuentran colmatadas. Por último, en la quinta medición (2021), se obtuvo que los tratamientos y bloques no presentan diferencias significativas entre tratamientos ni entre bloques. Por otro lado, en el ensayo de revegetación, se probó el efecto de cuatro tratamientos de establecimiento: plantación lineal, plantación en clúster en sitios abiertos, plantación en clúster bajo legados biológicos y siembra directa. Se obtuvo que el tratamiento de siembra directa es el menos efectivo con una mortalidad del 100%. *S. candolleana* presentó los valores más altos de sobrevivencia, altura y diámetro a la altura del cuello en el resto de los tratamientos. *V. caven* fue la segunda especie con mayor sobrevivencia mediante PL y CBL. Lo sigue, *S. polygamus* mediante PL. Luego, *L. caustica* mediante CBL. *Q. saponaria* mediante PL, mientras que , *C. odorífera* mediante CBL. En base a estos resultados se recomienda revegetar mediante plantación ya sea mediante CBL o PL y priorizar el uso de las especies *S. candolleana* y *V. caven* por mayor sobrevivencia, características de leguminosa y adaptación positiva a las condiciones de sitio.

Finalmente, se realizaron propuestas de mejora que van a ayudar a Biocys a la gestión de las prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental, las que consisten en la creación de formularios para muestreo y descripción de suelos, almacenamiento de información en nube, disponibilidad de instrumentos, mantenimiento de las obras de conservación de suelos y agua y potenciar futuras investigaciones derivadas de los proyectos de conservación de suelos y aguas.

Palabras claves: Conservación de suelos y aguas, ambientes semiáridos, obras de control de erosión, erosión del suelo, desertificación, sequía, restauración ecológica.

ABSTRACT

Quebrada de la Plata Nature Sanctuary in 2016 was affected by an extensive forest fire. After this, the Pilot Restoration Plan was carried out with the aim of carrying out restoration actions in the Sanctuary. In this context, the general objective of this professional practice is to evaluate the techniques of revegetation and soil and water conservation for the environmental rehabilitation of the Sanctuary.

The state of the art on soil and water conservation practices in semi-arid environments was documented making a compilation of exhaustive information from the studies that have been carried out on the different works. Are classified the works according to their objective: regulate water flow, sediment control, runoff surface control and stabilize erodable lands.

Through the monitoring of the erosion test, it was obtained that the soil of the Sanctuary presented erosion in the fifth measurements. The behavior of the average net erosion and sedimentation through measurements and between blocks is dynamic, which is explained by the fact that there are different factors that condition soil erosion and also, because the works are clogged. Finally, in the fifth measurement (2021) the treatments and blocks do not present significant differences between treatments nor between blocks.

On the other hand, in the revegetation test, the effect of four establishment treatments was tested: linear planting, cluster planting in open sites, cluster planting under biological legacies and direct seeding. In the revegetation test it was obtained that the sowing treatment is the least effective with a 100% of mortality. *S. candolleana* presented the highest values of survival, height, and diameter at neck height in the 3 treatments. *V. caven* was the second most surviving species by PL and CBL. It is followed by *S. polygamus* by PL. Then *L. Caustica* via CBL. *Q. saponaria* through PL. Finally, *C. odorifera* through the CBL. Based on these results, it is recommended to revegetate by planting either by CBL or PL and prioritize *S. candolleana* and *V. caven* due to their positive results, legume characteristics and positive adaptation to site conditions.

Finally, improvement proposals were made that will help Biocys to manage soil and water conservation practices for environmental rehabilitation, which consist of the creation of soil sampling and description forms, cloud storage, availability of instruments, maintenance of soil and water conservation works and promoting future research derived from soil and water conservation projects.

Key words: Soil and water conservation, semiarid environments, soil erosion control practices, soil erosion, desertification, drought, ecological restoration.

1 INTRODUCCIÓN

Chile es un país vulnerable al cambio climático, debido a que cumple con siete de las nueve características de vulnerabilidad, estas son: áreas de borde costero de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; propensión a los desastres naturales; zonas propensas a la sequía y la desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica, y zonas de ecosistemas frágiles y montañosos, como las cordilleras de la costa y de los Andes (Lucas, 2018).

La desertificación, degradación de tierras y sequía se pueden considerar como los efectos más demostrativos del cambio climático. La Región Metropolitana es una de las regiones con mayor riesgo y susceptibilidad a estos efectos, encontrándose en categoría grave. La sequía es considerada grave cuando en los territorios existe un déficit en la vegetación, un déficit en la precipitación y en el caudal superficial y subterráneo por un largo periodo de tiempo, estos déficits ocasionan serios problemas en la vegetación, fauna, población y el suelo (Emanuelli *et al.*, 2016).

En la comuna de Maipú, Región Metropolitana se encuentra ubicado el Santuario Quebrada de la Plata, el cual es parte de la Estación Experimental agronómica Germán Greve, propiedad de la Universidad de Chile, que tiene 3.000 hectáreas de terreno. Su área se reparte en 1.500 hectáreas de cerros y quebradas para el pastoreo, 1.250 hectáreas de secano, y 246 hectáreas dedicadas a riego gravitacional. En el lugar se halla uno de los 11 Santuarios de la Naturaleza de la región, el cual abarca una superficie de 1.100 hectáreas aproximadamente, albergando un 1% de la biodiversidad mundial (Orellana Y Stewart, 2014). Sus objetos de conservación son: las formaciones vegetacionales de bosque y matorral de los tipos esclerófilos y espinoso, con presencia de arbustos xerofitos de baja altura y suculentas; el sistema hídrico, que comprende los escurrimientos hídricos superficiales y subsuperficiales correspondientes a la parte de la microcuenca de drenaje o unidad hidrológica; el suelo, cuya mezcla de minerales, materia orgánica y agua hace posible soportar la vida y ser fuente de recursos esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas (Decreto N°44, 2017).

El 14 de noviembre del 2016 la Quebrada de la Plata fue declarada Santuario de la Naturaleza, mismo día en que se produjo un incendio forestal en el lugar, el cual tuvo una afectación de más del 70% de su superficie (MMA, 2016). Esta perturbación generó que se alterara la estabilidad de los ecosistemas, modificando la estructura y composición de especies, afectando las dinámicas sucesionales, y perturbando las interacciones ecológicas clave del sistema. Factores que sumados se traducen en una pérdida de funcionalidad del ecosistema de difícil recuperación. Los que a su vez puede dejar profundas huellas en el ecosistema y desencadenar procesos erosivos y degradativos que pueden incrementar notablemente la magnitud y duración de los impactos provocados por los incendios (Fernández *et al.*, 2010).

Debido a los problemas presentados, toma fuerza la idea acumular el agua y evitar la erosión de los suelos, mediante diversos tipos de obras conservación de suelo y agua. La Conservación de Suelos y Aguas (CSA) se define como el conjunto de actividades que mantienen o fortalecen la capacidad productiva de los recursos del suelo en zonas propensas a la erosión. Estas actividades ayudan a prevenir o reducir la erosión del suelo, a conservar la humedad y a mantener o mejorar la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2018). De esta forma, toda práctica que mejore la infiltración en esos terrenos aumenta la seguridad de producir mayor cobertura vegetal y por lo tanto rendimientos más altos (FAO, 2011).

En este contexto, la restauración ecológica es una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema nativo con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad (SER, 2004). La revegetación es una técnica que propone revertir las condiciones de las áreas degradadas con la plantación de especies vegetales nativas, que lleven a restituir la estructura y la cobertura vegetal, permitiendo a su vez recuperar áreas degradadas y acelerar la sucesión ecológica (Dalmasso, 2010).

Entre los numerosos trabajos realizados y en curso sobre los desafíos hídricos que enfrenta la zona central de Chile y las posibles soluciones a estos, se encuentran los logrados por la Consultora Ambiental Biocys. La Consultora Soluciones Ambientales Estratégicas SpA (BIOCYS) es especialista en restauración y rehabilitación de espacios degradados y en otras áreas como la forestación y manejo silvicultura, estudio de línea base-elaboración de Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), producción de planta óptima, planes de compensación y asesorías agronómicas en suelos y aguas.

Luego del incendio forestal, el Laboratorio de Ecología de Ecosistemas de la Universidad de Chile llevó a cabo el diseño del Plan Piloto de Restauración de Quebrada de la Plata, GEF. Entre noviembre de 2017 y julio de 2018 Biocys ejecutó el proyecto, el cual involucró la intervención de 2,25 hectáreas de vegetación nativa afectada, con la revegetación y la instalación de obras de control de erosión con el fin de reconocer las técnicas más eficaces y eficientes para llevar a cabo acciones de restauración en el Santuario, y así brindar información importante para favorecer la restauración de Chile Central (Campillay, 2018).

En este contexto, el objetivo general es evaluar las prácticas de revegetación y Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, para el cumplimiento de este objetivo se establecieron tres objetivos específicos:

- Analizar el estado del arte sobre sobre prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de áreas degradadas en ambientes semiáridos.
- Analizar las obras y proyectos recientes de prácticas de Conservación de suelos, aguas y revegetación para la rehabilitación ambiental en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata.
- Proponer mejoras a la gestión de las prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de la empresa Biocys.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo dentro del Santuario de la Naturaleza La Quebrada de la Plata, el cual se encuentra en una microcuenca inserta en el cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, ubicada dentro de la Estación Experimental Agronómica Germán Greve Silva de la Universidad de Chile, a 30 kilómetros al suroeste de la ciudad de Santiago, en la comuna de Maipú, Región Metropolitana. El norte del santuario limita con la cuesta Lo Prado y parte Sur con la cuesta Barriga.

El Santuario abarca una superficie de 1.110 hectáreas. Sus coordenadas geográficas son: 33° 29' 26" Latitud Sur y 70° 53' 15" Longitud Oeste (Orellana y Stewart, 2014). Representa un ecosistema mediterráneo ubicado en la zona del secano interior y caracterizado por una vegetación boscosa y de matorrales esclerófilos (Luebert y Pliscoff, 2006), caracterizado por la presencia de especies como *Vachellia caven* (Espino), *Cryptocarya alba* (Peumo), *Quillaja sapoaria* (quillay), entre otras (CMN, 2016). A su vez, Donoso (1981), clasifica la vegetación del sector en estudio dentro del Tipo Forestal Esclerófilo, pudiendo encontrarse los Subtipos Espinal y de Rodales Mixtos de Especies Arbóreas Esclerófilas.

Di Castri (1975), divide al país en diversas regiones bioclimáticas. Dicha clasificación inserta el área de estudio en la Región Mediterránea Semiárida, caracterizándose por un promedio de temperaturas máximas y mínimas de 23° C y 7° C, respectivamente; una pluviosidad de 330 mm y una humedad relativa de 67%. Sin embargo, desde el año 2010 el territorio comprendido entre las regiones Coquimbo y la Araucanía ha experimentado una mega sequía la que se ve reflejada en el déficit de precipitaciones cercano al 30% y un incremento de las temperaturas máximas desde la década de los 70. Así la megasequía ocurre en la década más cálida del registro histórico a lo largo de Chile central. En el periodo 2010 – 2014, la mayoría de las estaciones meteorológicas en el valle central y la precordillera presentaron temperaturas medias y máximas entre 0,5 y 1,5°C por encima de la normal climatológica calculada entre 1970 y 2000 (Centro de Ciencia del Clima y la Residencia, 2015)

El Santuario presenta diferentes microclimas, que hacen que se manifieste una abundante diversidad vegetal y endemismo (Schlegel, 1966), por lo que se encuentra inserta dentro de uno de los 34 hotspots correspondiente al 1% de la biodiversidad mundial, concentrando a más de 1.500 especies de flora y fauna endémicas, en donde la mayoría de estas han sido catalogadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como “vulnerables” y “en peligro de extinción” (Orellana y Stewart, 2014). En cuanto al suelo este es de formación coluvial y de origen granítico. Presenta texturas franco-limosas a franco-arcillosas con gravas, limitando con una capa compacta (Schlegel, 1963).

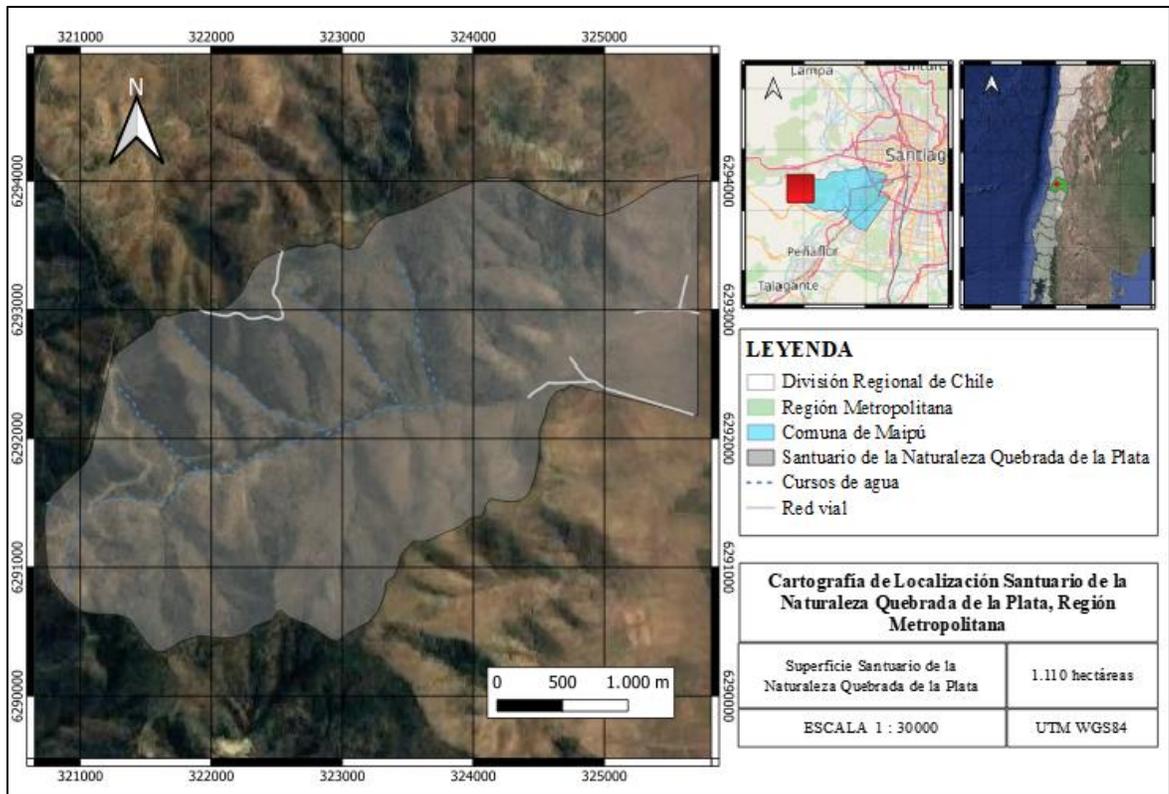


Figura 1. Cartografía Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración propia. Fuente: BCN (2019).

2.2 Consultora ambiental Biocys

La Consultora Soluciones Ambientales Estratégicas SpA (BIOCYS) es una empresa conformada por un equipo multidisciplinario, que trabaja en tópicos tales como la desertificación, sequía, degradación ambiental e incendios forestales. Son especialistas en restauración y rehabilitación de espacios degradados, forestación y manejo silvicultura, estudio de línea base-elaboración de Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), producción de planta óptima, planes de compensación y asesorías (Lemus, 2020).

2.3 Estado del arte en prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de áreas degradadas en ambientes semiáridos arte

Para realizar el estado del arte se realizó una búsqueda exhaustiva de información, para lo cual se utilizaron palabras claves tanto en español como en inglés en sitios confiables tales como Scholar Google (Google Académico), WoS, SCOPUS, SCIELO.

Cuadro 1. Palabras claves para llevar a cabo el estado del arte.

Español	Inglés
Conservación de suelos y aguas	Soil and water conservation
Ambientes semiáridos	Semiarid environments
Obras de control de erosión	Soil erosion control practices
Erosión del suelo	Soil Erosion
Desertificación	Desertification
Sequía	Drought
Restauración ecológica	Ecological restoration

Para realizar el estado del arte, en primera instancia se hizo una recopilación de información bibliográfica sobre las prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental acotada a áreas degradadas en ambientes semiáridos. Para la búsqueda exhaustiva se utilizaron palabras clave tanto en español como en inglés en sitios confiables. Luego de la recopilación, lectura y selección de los puntos a considerar más importantes se procedió a verificar la información obtenida a través de la consulta a trabajadores claves de la empresa. Posteriormente se ordenó, clasificó la información obtenida y se procedió a escribir el estado del arte.

2.4 Plan Piloto de Restauración de Santuario Natural Quebrada de la Plata, GEF

A continuación, se describe el diseño y distribución del ensayo de control de erosión y revegetación del Plan Piloto de Restauración de Quebrada de la Plata, GEF sobre la base del documento entregado por Biocys llamado “Informe Final; Proyecto de Restauración Quebrada de la Plata, GEF” del año 2018.

2.4.1 Ensayo de Control de Erosión

El ensayo de control de erosión fue instalado entre el 19 de marzo y el 21 de junio de 2018 dentro del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, estableciéndose cinco parcelas en tres sectores diferentes. La parcela n°1 y n°2 se encuentran ubicadas en ladera con exposición norte. La parcela n°3 y n°4 se encuentran ubicadas en ladera con exposición sur. Finalmente, la parcela n°5 se encuentra ubicada en ladera con exposición sur bajo el bosque de *Cryptocarya alba*. Todas las parcelas presentan pendiente >30%.

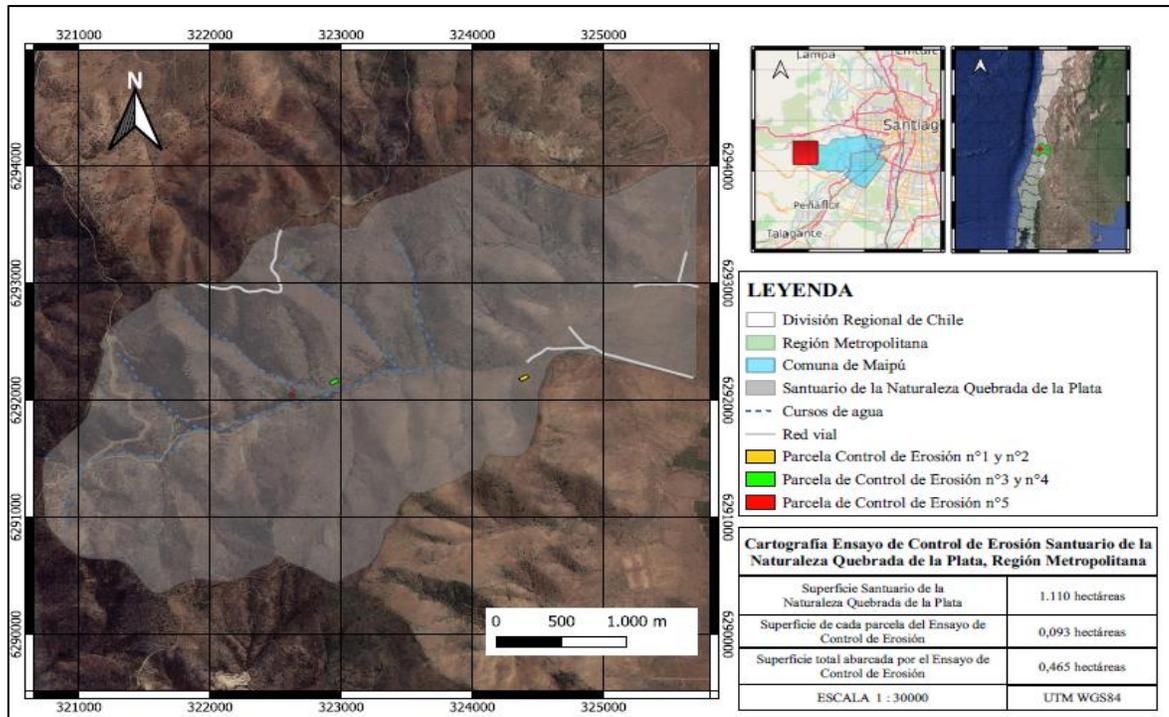


Figura 2. Cartografía de localización de Ensayo de Control de Erosión en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración Propia. Fuente: BCN (2019).

En cada una de las parcelas se instalaron cuatro tipos de obras de conservación de suelos: líneas con sacos rellenos con tierra, fajinas de ramas, cubierta superficial de ramas y cubierta superficial de malla, además de un sector testigo.

Tratamiento lineal con sacos rellenos con suelo. Es un tratamiento que tiene por objetivo la disminución de la erosión superficial, disipar la escorrentía superficial, reducir la velocidad del flujo hídrico y la acumulación de sedimentos. Esta es una obra adecuada y de fácil ejecución en taludes de pendientes moderadas, mediana y escarpadas. Se necesitan sacos de malla sombra con cobertura del 60% de suelo, en algunos casos se incorporan semillas de pastos (Francke *et al.*, 2004). Para efectos de este ensayo se implementó sacos de tierra dispuestos en 5 hileras separadas cada 6 metros.

Tratamiento lineal con fajinas de ramas. Es un tratamiento que tiene por objetivo disminuir la erosión superficial, disipar la escorrentía superficial, reducir la velocidad del flujo hídrico y la acumulación de sedimentos. Esta obra puede aplicarse en laderas de pendientes moderadas, no resultando recomendable para pendientes muy escarpadas. Se pueden utilizar residuos de ramas de diferentes especies existentes en el lugar a intervenir (Francke *et al.*, 2004). Para efectos de este ensayo se implementó 5 fajinas separadas cada 6 metros en cada parcela.

Tratamiento de cubierta superficial de ramas: Los tratamientos de cubiertas resultan útiles para disminuir la erosión hídrica por el efecto amortiguador que proporcionan. Para realizar la obra, se emplean una gran variedad de materiales en las que podemos encontrar las ramas y mallas orgánicas y no orgánicas. El objetivo de esta obra es atenuar la gota de lluvia en el suelo, disminuir la escorrentía superficial en el talud, evitar la compactación acelerada de la superficie del suelo, captar la humedad atmosférica y potencia la formación de una cubierta vegetal. Esta obra también sirve para proteger a las semillas en el caso de hacer una plantación, impidiendo su arrastre, la desecación de estas por efectos del viento y la radiación solar y minimizar las pérdidas de semillas por ataque de la avifauna (Francke *et al.*, 2004). Para efectos de este ensayo se utilizó el material disponible en el lugar, donde se dispuso cubiertas de ramas de 2 metros de ancho, separadas cada 6 metros en cada parcela.

Tratamiento de cubierta superficial con malla: Francke *et al.* (2004) indica que las cubiertas superficiales con malla cumplen la función de estabilizar los taludes de pendientes escarpadas con suelos de baja fertilidad, afectados por procesos de intensa escorrentía superficial, situación que se da en zonas semiáridas. Esta obra se recomienda emplear en áreas difíciles de estabilizar mediante los métodos tradicionales. Se utilizó 5 fajas de geotextil de fibra de coco de 1 x 6 metros, separadas cada 6 metros por cada parcela de muestreo. La malla se dispuso sobre la superficie y se fue estacada a 15 cm de profundidad. La malla de geotextil de fibra de coco tiene el beneficio de entregar estabilidad a los taludes espinados, por ende, evitar la erosión del suelo. Posteriormente, la malla se degrada, ayudando a mejorar el establecimiento y enraizamiento vegetal (Madrid *et al.*, 2014).

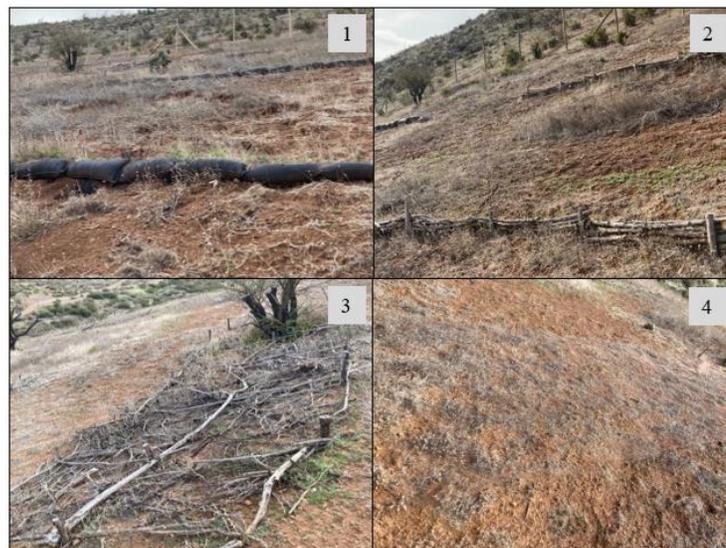


Figura 3. Métodos de control de erosión utilizados: 1. Sacos rellenos de suelo, 2. Fajinas en ramas, 3. Cubierta superficial con ramas y 4. Cubierta superficial con malla.

En cuanto al diseño de cada parcela de control de erosión, cada una mide 30 metros de largo por 31 metros de ancho, se encuentran divididas en 5 bloques separados por pasillos de 0,5

metros cada uno, correspondiendo cada bloque a un método de control de erosión diferente y el quinto al método testigo (control).

A su vez, se instaló un total de 120 clavos por parcela con el objetivo de monitorear las parcelas a través del tiempo y así poder evaluar la efectividad de cada método utilizado, este método tiene el nombre de parcelas experimentales de clavos de erosión, el cual permite determinar el balance entre pérdidas y entradas de suelo en cada tratamiento, permitiendo efectuar estimaciones más reales de las pérdidas de suelo, debido a que, al ser un balance, no se sobreestima la erosión (Pizarro *et al*, 2010). Los clavos fueron enumerados y nombrados desde la esquina superior izquierda mirando hacia el ensayo desde el C1 hasta el C9 y la última fila desde el L1 hasta L3, en donde los clavos cortos (C) fueron enterrados a 4 pulgadas y los clavos largos (L) a 2 pulgadas.

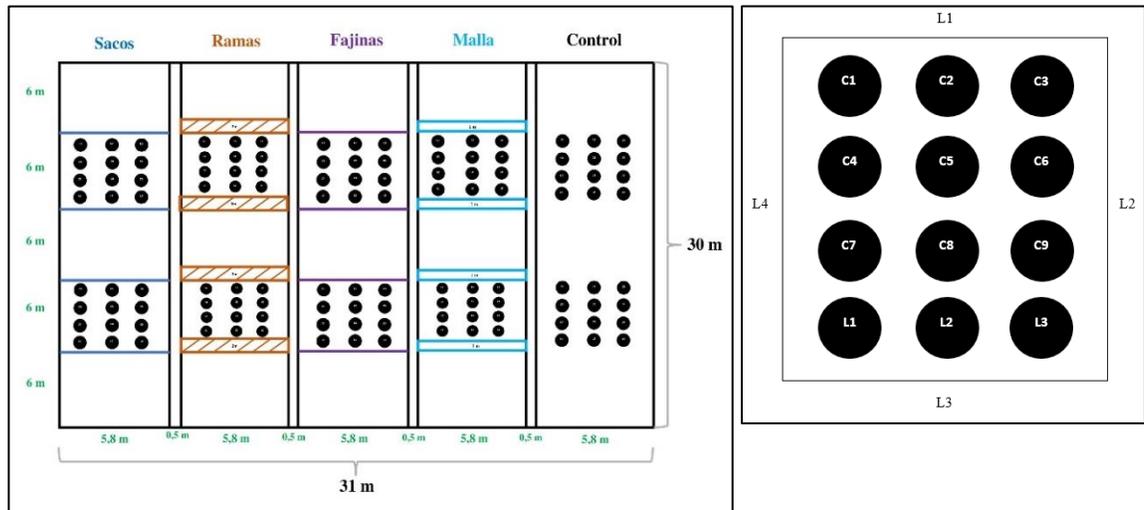


Figura 4. Diseño de ensayo de control de erosión y distribución de los clavos.



Figura 5. Fotografía en terreno de distribución de clavos de erosión en Ensayo n°2 tratamiento de cubierta superficial de ramas.

Para determinar el balance entre pérdidas y entradas de suelo en cada tratamiento se realizaron monitoreos a lo largo del tiempo. En la actualidad se han efectuado un total de cinco monitoreos, el primero y el segundo monitoreo se llevaron a cabo en el año 2018, el tercero en el año 2019, el cuarto en el año 2020 y finalmente el quinto en el año 2021 como parte de esta práctica profesional.

Para llevar a cabo la medición de los clavos se utilizó una regla o huincha metálica la cual se colocó al costado de cada clavo siempre en la parte baja de la ladera y justo al borde de la cabeza del clavo, paralelamente los valores obtenidos de las alturas en mm se fueron registrando en el formulario correspondiente (Anexo I).



Figura 6. Figura y fotografías en terreno de la forma correcta para la medición de clavos de erosión.

Una vez obtenidos los datos en terreno se estimó la erosión media, sedimentación media y erosión neta a base de las siguientes ecuaciones:

Erosión y sedimentación media (x): Erosión o sedimentación promedio que se genera en las parcelas. Para su cálculo primero se determinó la altura media de los clavos (y), siendo esta la suma de las alturas sobre el total de clavos de la parcela. Estas pueden ser alturas de erosión o altura de sedimentación en relación con las diferencias entre las mediciones realizadas entre tormentas (Vega, 2008).

$$x = y * Da * 10$$

Donde:

- x : Suelo erosionado o sedimentado [ton/ha].
- y : Altura media del suelo erosionado o sedimentado [mm].
- Da : Densidad aparente del suelo [ton/m].

Erosión neta (En): Se define como la pérdida de suelo considerando la sedimentación ocurrida, es decir, la diferencia entre la erosión media del suelo y la sedimentación media. Cabe destacar, que los valores positivos de Erosión neta indican la existencia de erosión y los valores negativos sedimentación (Vega, 2008). Se expresa como:

$$En = E - S$$

Donde:

- En :Erosión neta [ton/ha].
- E : Erosión media [ton/ha].
- S : Sedimentación media [ton/ha].

La densidad aparente utilizada se basó en Poblete (2004), con un valor de 1,535 ton/m³ para la exposición norte y 1,455 ton/m³ para la exposición sur.

Para la obtención de los resultados se analizaron los datos de dos formas. Se obtuvo el promedio de la erosión y sedimentación media neta de los bloques y tratamientos de todas las mediciones históricas efectuadas. Por otro lado, se obtuvo la erosión y sedimentación media neta de los bloques y tratamientos en cada medición.

Para determinar si existían diferencias significativas en las mediciones se utilizaron los software estadísticos RStudio e Infostat. Se efectuaron los análisis para validar los supuestos de la Prueba de ANOVA. La hipótesis nula (H₀) indica que la media entre los niveles es

igual, por otro lado, la hipótesis alternativa (H1) plantea que al menos un nivel tiene una media diferente en relación con los demás. El primer supuesto indica que el conjunto de datos se ajuste a una distribución normal, dicho esto se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk o Lillie. El segundo supuesto indica que las varianzas de los errores deben ser constantes, es decir, homocedásticos por lo cual se aplicó la prueba de Bartlett. En caso de que el conjunto de datos no presente una distribución normal se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para datos no paramétricos. En ambos casos, si el p valor es $< 0,05$ existen diferencias significativas.

2.4.2 Ensayo de revegetación

El ensayo de revegetación se instaló en la parte Este del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata entre el 22 de junio y el 20 de julio de 2018. El ensayo mide 100 metros de largo por 112 metros de ancho y contiene cinco bloques en donde cada uno de ellos contiene cinco parcelas de 20 por 20 metros, las cuales cuatro de ellas corresponden a un método de revegetación distinto y la quinta al método testigo (control). Cada parcela está compuesta por seis plantas de cada especie, teniendo un total de 36 plantas por parcela y 540 plantas en todo el ensayo. A cada individuo se les asignó un número correlativo dentro de la parcela (1-36), en donde el primer individuo se ubica a la derecha superior. Como medida de protección el ensayo cuenta con un cerco perimetral de exclusión de una longitud de 600 metros lineales.

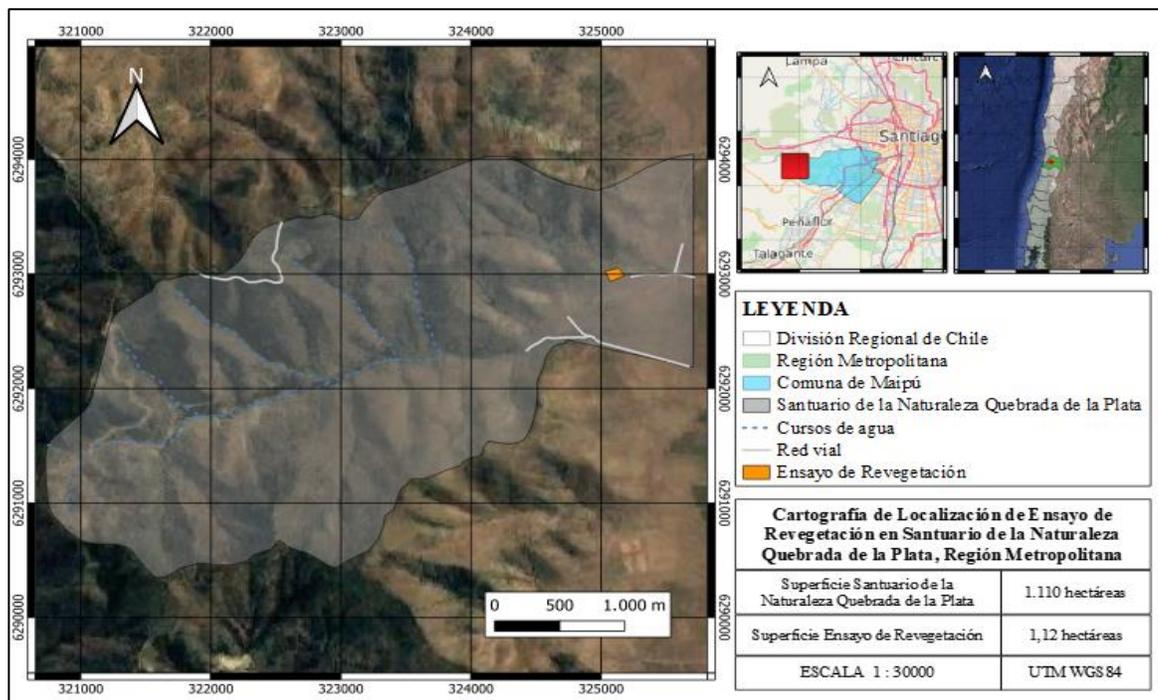


Figura 7. Cartografía del ensayo de revegetación en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Elaboración propia.

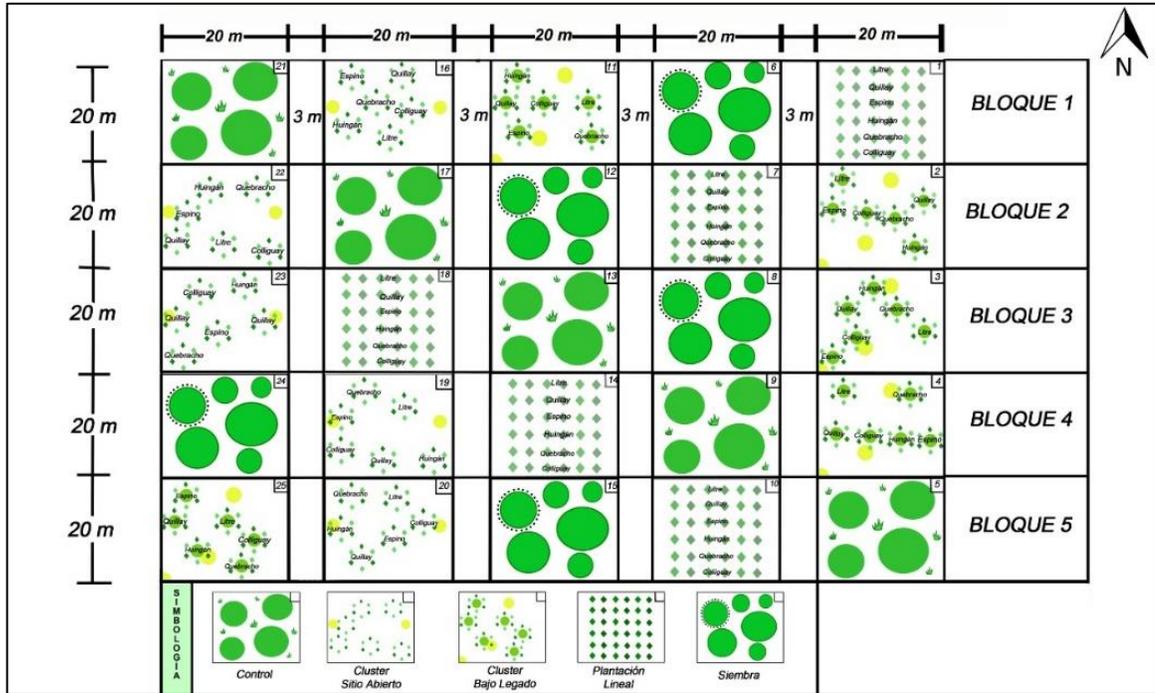


Figura 8. Diseño de ensayo de revegetación.

Se utilizó cuatro métodos de revegetación: plantación lineal (PL), plantación en clúster en sitio abierto (CSA), plantación en clúster bajo legados biológicos (CBL) y siembra directa de especies nativas (SD). La implementación de cada método de revegetación se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de la implementación de los métodos de revegetación.

Método	Implementación
Plantación lineal (PL)	Se dispuso de las plantas siguiendo un sistema de hileras con seis individuos en cada una de ellas, los cuales se separaron por 2 metros aproximadamente entre sí.
Plantación en clúster en sitios abiertos (CSA)	Se formaron núcleos de seis individuos con un radio de 1 metro y una distancia de medio metro entre cada individuo.
Plantación en clúster bajo legados biológicos (CBL)	Se distribuyeron de igual forma que el anterior, pero en este caso se plantaron alrededor de espinos, debido a que este se caracteriza por ser una especie nodriza.
Siembra directa de especies nativas (SD)	En una primera instancia se ubicaron las semillas agrupadas por especie en la base de cada Espino para luego formar un nido de ramas sobre ellas a modo de protegerlas de posibles depredadores y favorecer su crecimiento.

En la Figura 9 se pueden observar fotografías de los diferentes métodos utilizados en el ensayo de revegetación. 1.Siembra, 2. Clúster en sitio abierto (CSA), 3. Clúster bajo legado (CBL) y 4. Plantación lineal (PL).

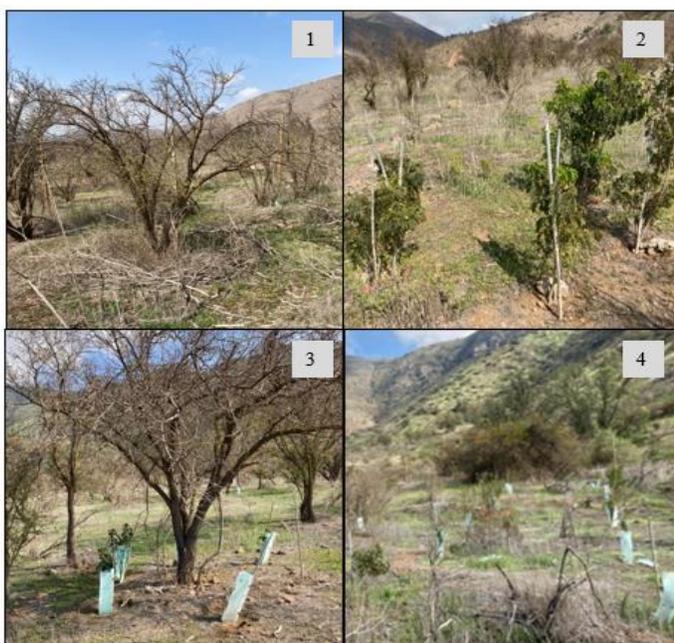


Figura 9. Métodos de revegetación utilizados.

Las especies utilizadas para el ensayo de plantación lineal, clúster en sitios abiertos y clúster bajo legados corresponden a: *Quillaja saponaria* (quillay), *Vachellia caven* (espino), *Lithraea caustica* (litre), *Colliguaja odorifera* (colliguay), *Senna candolleana* (quebracho) y *Schinus polygamus* (huingán). El número de plantas, origen y vivero de cada una de las especies se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especie, número de plantas, origen y vivero de las plantas utilizadas en el ensayo de revegetación.

Especie	N° de plantas	Origen	Vivero
<i>Quillaja saponaria</i>	90	Colina	Antumapu
<i>Vachellia caven</i>	90	Rinconada de Maipú	Antumapu
<i>Lithraea caustica</i>	90	Paine	Diego Plant- Pumahuida
<i>Schinus polygamus</i>	90	Paine	Diego Plant- Pumahuida
<i>Senna candolleana</i>	90	Hijuelas RM	Carlos Saavedra particular Pumahuida
<i>Colliguaja odorifera</i>	90	RM	Pumahuida

Para el ensayo de siembra se sembró en dos ocasiones, con un año de diferencia, especies de *Vachellia caven* (Espino), *Lithraea caustica* (Litre), *Senna candolleana* (Quebracho) y *Quillaja saponaria* (Quillay), utilizándose 225 semillas de Espino, 480 semillas de Litre y 500 semillas de Quillay y Quebracho. Las semillas tenían tratamientos pregerminativos y de escarificación según corresponda para cada especie, las cuales fueron obtenidas del Vivero de Antumapu.

En cuanto al manejo al ensayo se le aplicó distintas cantidades de riego durante las diferentes temporadas, como muestra el Cuadro 4.

Cuadro 4. Riego aplicado al ensayo de revegetación.

Establecimiento	2018	Entre junio y julio	5 litros ejemplar/mes
Primera temporada	2018-2019	Entre diciembre y marzo	5 litros ejemplar/mes
Segunda temporada	2019-2020	Entre enero y marzo	10 litros ejemplar/mes
Tercera temporada	2020-2021	Entre enero y marzo	11 litros ejemplar/mes
Cuarta temporada	2021-2022	Febrero	15 litros ejemplar/mes

Para llevar a cabo el monitoreo del ensayo de plantación, en terreno se midieron los siguientes indicadores: sobrevivencia, vitalidad, altura, DAC (diámetro del cuello de la planta) y causa de muerte (si aplica) de cada planta, para las plantas ubicadas en Clúster Sitio Abierto y Clúster Bajo Legado también se consideró la exposición. Los datos obtenidos fueron registrados en un formulario (Anexo II), junto al número de planta, número de parcela, número de bloque, tratamiento, observaciones y fecha de medición.

La medición de la altura se registró en cm y se realizó con una huincha de medir. En donde se consideró desde donde comienza el cuello de la planta DAC hasta el punto máximo en la hoja, rama o tallo que se encontrara más alto de solo los individuos vivos.

La medición del DAC de los individuos vivos se registró en mm con un pie de metro digital. Cuando la planta presentó una ramificación en el cuello del tallo, se buscó el lugar donde existía la conjunción de estos, si este punto no se encontraba y a modo de no alterar el desarrollo de la planta y su soporte, se midió el cuello más grueso.



Figura 10. Forma correcta de medición del DAC y altura.

Sobrevivencia

La sobrevivencia fue determinada en base a la relación entre el número de plantas establecidas y el número de plantas vivas encontradas al momento de la medición. La sobrevivencia se obtuvo para las variables tratamiento, especie y la interacción entre estas.

Para el calculo del porcentaje de sobrevivencia se utilizó la siguiente ecuación (Linares, 2005).

$$\% \text{ Sobrevivencia} : \frac{Pv}{(Pv+Pm)} * 100$$

Donde:

Pv : Cantidad de plantas vivas.

Pm : Cantidad de plantas muertas.

Vitalidad

Las categorías que se utilizaron para la vitalidad son: 1: buen estado (0-20% muerto), 2: malogrado (20-80% muerto), 3: casi muerto (80-99% muerto) y 4: muerto (100% muerto). Se obtuvo el porcentaje de vitalidad por categoría para las variables tratamiento y especies. El porcentaje de vitalidad fue determinada en base a la relación entre la cantidad de plantas de una categoría (1,2,3 o 4) y el número total de plantas.

Diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura

Para el cálculo del promedio de DAC y Altura se consideró solo las plantas vivas. Se obtuvo el promedio para las variables tratamiento, especies y su interacción.

Posteriormente, los datos obtenidos de cada indicador se analizaron de acuerdo con supuestos de normalidad y homocedasticidad y homogeneidad en el software estadístico RStudio e Infostat, mediante “Lillie.test”, “Bartlett.test” y “Fligner.test”. Para determinar si existían diferencias significativas se verificó que los p-value fueran <0,05. Si los datos no son normales, se aplicó el análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis con comparación de pares, analizando los datos según la categoría de clasificación necesaria. Finalmente, se presentan de forma gráfica los datos obtenidos, mediante Q-Q plot y gráficos de barra.

2.5 Propuestas de mejoras a la gestión de las prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental en la empresa Biocys

Para realizar la propuesta de mejoras se siguieron los pasos propuestos en “Metodología para elaborar un Plan de mejora continua” (Proaño *et al.*, 2017).

Primero se identificaron las posibles áreas que necesitan mejora. Posterior a esto se detectaron las principales causas del problema. Luego se formularon los objetivos relacionados a estos. Enseguida se seleccionaron las acciones de mejora para cada área. Para esto se realizó un listado con diferentes actividades acordes al cumplimiento del objetivo y posteriormente priorizaron. Posteriormente se procedió a la redacción de las propuestas y la entrega del documento final.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estado del arte sobre prácticas de conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental de áreas degradadas en ambientes semiáridos

A escala planetaria, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la desertificación y la erosión del suelo constituyen los problemas medioambientales de mayor extensión espacial e incidencia ambiental y económica que afectan a los geosistemas de las regiones mediterráneas áridas, semiáridas y subhúmedas, haciéndolas más sensibles y vulnerables a los fenómenos naturales y antrópicos, presentando a través del tiempo importantes cambios, alteraciones y amenazas que pueden llegar a ser irreversibles (López y Romero, 1998). En las zonas áridas y semiáridas, adquiere una alta importancia la degradación de las tierras, dada la fragilidad que presentan estos sitios, en donde se predominan ecosistemas con una escasa o nula cobertura vegetal y que a su vez se encuentran ligados a eventos de precipitación escasos, pero de alta intensidad; ello conduce a eventos irremediablemente de desertificación (Pizarro *et al.*, 2010).

El cambio climático se interrelaciona con los procesos de erosión y desertificación, dado a que está comprobado que parte de los efectos del cambio climático se evidencian en los suelos, en donde los cambios en los patrones de temperatura y de lluvias pueden tener un gran impacto en la materia orgánica, así como en las plantas y cultivos que crecen en ellos (Labra *et al.*, 2018).

En Chile la degradación de las tierras está explicada en gran medida por la erosión. En el año 2010 el CIREN determinó la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, su estudio demuestra que 36,8 millones de hectáreas de la superficie presenta algún grado de erosión, lo que equivale al 49,1% del territorio nacional, de este total las zonas semiáridas son las que presentan los mayores problemas de erosión, la región de Coquimbo con el 84% y la de Valparaíso con 57% de sus suelos erosionados (Flores *et al.*, 2010).

La erosión de los suelos en Chile es considerada uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario. Asimismo, dicha problemática está asociada a una disminución de la productividad y eficiencia de los suelos, la cual es provocada por una baja retención tanto del agua como del suelo, y cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas (Pizarro *et al.*, 2010).

Frente al problema de la desertificación se apuesta por diferentes soluciones ligadas a prácticas de conservación de suelos y aguas, la cual se define como el conjunto de actividades que mantienen o fortalecen la capacidad productiva de los recursos del suelo en zonas propensas a la erosión, que ayudan a prevenir o reducir la erosión del suelo, a conservar la humedad y a mantener o mejorar la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2018).

Las obras de conservación de aguas y suelos pueden ser clasificadas en dos grupos: Las primeras cuya función es la protección del suelo ya sea disminuyendo la escorrentía superficial, y/o aumentando la infiltración del agua en el suelo. Estas se utilizan generalmente en zonas áridas y semiáridas y favorecen la instalación de especies arbóreas y arbustivas, suscitando un aumento de la productividad de los suelos. La segunda clasificación es de aquellas obras cuya principal función es la protección de cauces ya sea de ríos o de cárcavas, y a la vez, favorecen la retención de sedimentos, con lo que se suaviza la pendiente del cauce y se retarda el tiempo de concentración de la cuenca. Generalmente, se utilizan en zonas de régimen pluvial torrencial, y no siempre están asociadas a especies vegetacionales. Desde el punto de vista forestal, ambos tipos de obras son utilizadas por separada o en forma complementaria, dependiendo de las condiciones ambientales (INFOR, 2011). A continuación, se presentan dos clasificaciones para las obras de conservación de suelos y aguas.

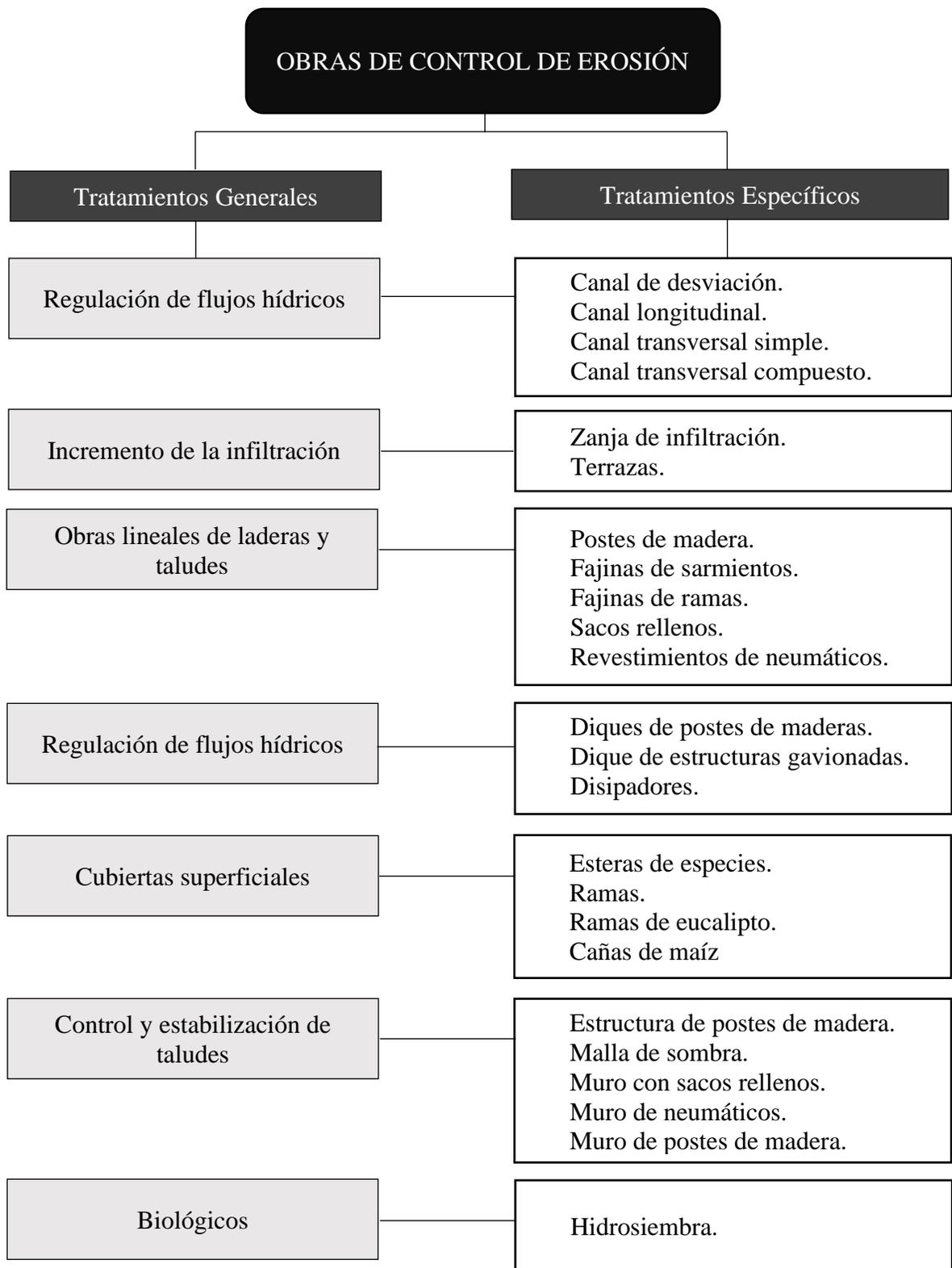


Figura 11. Clasificación de obras de control de erosión (Francke *et al.*, 2004).

Navarro *et al.* (2001) clasifica los tratamientos y obras de conservación de suelos y aguas en tratamientos del cauce y tratamientos de ladera, los cuales se detallan en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Obras del Cauce (quebradas y cárcavas) (Navarro *et al.*, 2001).

Obras del Cauce (quebradas y cárcavas)			
Objetivos Generales	OCAS	Objetivos Específicos	Ubicación
- Regular el Flujo Hídrico (encausar y disminuir velocidad) - Controlar los sedimentos	Dique de Madera	Estabilizar pendiente del cauce.	Quebradas. Zanjas y cárcavas.
		Regulación del Flujo Hídrico.	
		Retención de sedimentos.	
		Evitar Socavamiento de cárcava.	
	Dique de Gaviones	Estabilizar pendiente del cauce.	Quebrada de gran caudal y/o ubicadas en caudales con material sedimentario de gran volumen.
		Regulación del Flujo Hídrico.	
		Retención de sedimentos.	
	Limanos	Estabilización de pendiente del cauce.	Quebradas pequeñas y fuertes desniveles de terreno
Retención del Flujo Hídrico y sedimento.			

Cuadro 6. Obras de Ladera (Navarro et al., 2001).

Obras de Ladera			
Objetivos Generales	OCAS	Objetivos Específicos	Ubicación
Controlar Escorrentía Superficial	Canal de desviación	Control de escorrentía superficial, desviando a sectores menos susceptibles de sufrir erosión.	Zonas sobre sector erosionado (ej. cárcava) o susceptible de sufrir erosión y que cuente con zona estable, capaz de recibir evacuación de agua.
	Zanja de infiltración	Retener e infiltrar Escorrentía Superficial.	Zonas sobre sector erosionado (ej. cárcava) o susceptible de sufrir erosión.
		Disminuir longitud de la pendiente y por ende erosividad de escorrentía superficial.	Zonas con sector erosionado (ej. erosión laminar) o susceptible de sufrir erosión.
		Mejorar condiciones hídricas para plantación.	
	Terrazas	Disminuir longitud de la pendiente y por ende erosividad de escorrentía superficial.	Zonas con sector erosionado (ej. erosión laminar) o susceptible de sufrir erosión.
		Aumentar infiltración de escorrentía superficial.	
		Mejorar condiciones hídricas para plantación.	

Cuadro 7. Obras de Ladera (Navarro *et al.*, 2001).

Obras de Ladera			
Objetivos Generales	OCAS	Objetivos Específicos	Ubicación
Estabilizar Terrenos Erodables	Empalizada	Estabilización de ladera.	Laderas de fuertes pendientes, erosionada (ej. erosión laminar) o susceptible de sufrir erosión. Talud de cárcava.
		Retención de escorrentía superficial.	
		Disminuir longitud de la pendiente y por ende erosividad de escorrentía superficial.	
		Estabilizar talud de cárcava.	
	Curva de nivel con saco	Estabilización de ladera.	Laderas de fuertes pendientes, erosionada (ej. erosión laminar) o susceptible de sufrir erosión. Zonas de inicio de erosión incipiente (ej. erosión laminar, canalículos, pequeñas zanjas). Talud de cárcava.
		Disminuir longitud de la pendiente y por ende erosividad de escorrentía superficial.	
	Muros con sacos	Estabilización de ladera.	Laderas de fuertes pendientes, erosionada o susceptible de sufrir erosión. Complementaria a dique de gavión o de postes.
		Asegurar estabilidad de obras de conservación.	
		Retención de sedimentos.	

Dicho esto, a continuación, se reconocen y describen las diferentes técnicas de prácticas de manejo para el control de la erosión en zonas áridas y semiáridas.

Tratamientos de regulación de flujos hídricos:

Francke *et al.* (2004) indican que el canal de desviación es una técnica que resulta útil para regular el gran volumen del flujo directo o de la escorrentía superficial en las zonas semiáridas. A través del canal se conduce el exceso de agua y de escurrimiento, desde zonas afectadas por la erosión hasta áreas protegidas y/o de baja pendiente, disminuyendo el escurrimiento y favoreciendo la infiltración del agua (Pizarro *et al.*, 2004). La ejecución se realiza sobre la cabecera de las cárcavas y/o en laderas con riesgo de erosión creciente (Francke *et al.*, 2004). Pizarro *et al.* (2004) indica que una desventaja que presenta esta práctica es su alto costo, además de tener limitaciones de pendiente.

Pizarro *et al.* (2004) llevó a cabo una investigación que se relaciona con el movimiento de suelo al interior de cárcavas, en función de la construcción de un canal de desviación. El objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad de las técnicas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias, para la protección del suelo, en zonas altamente degradadas. Los resultados obtenidos revelan que el canal de desviación es una obra que permite controlar y/o reducir eficazmente los procesos erosivos de manto, surcos y cárcavas, generando una disminución efectiva de la erosión en el interior de cárcavas, para dar paso a un aumento paulatino de la sedimentación al interior de esta (Pizarro *et al.*, 2004).

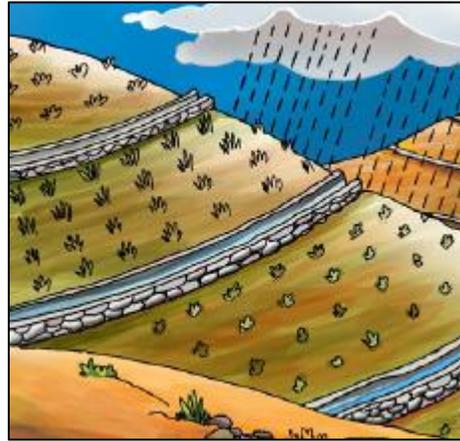


Figura 12. Canal de desviación (MMAyA, s.f.).

Por otro lado, dentro de los tratamientos reguladores de flujos hídricos están los diques transversales, los cuales son estructuras ubicadas en forma perpendicular al eje del cauce, están diseñadas para disminuir, anular o, al menos controlar los procesos de transporte sólido y de erosión en el lecho y sus márgenes, evitando que con los mismos se incorpore un considerable caudal sólido a las aguas circulantes (INFOR, 2011). Díaz *et al.* (2014) indican que las funciones que cumplen los diques transversales y que justifican su empleo son múltiples, y han sido reseñadas por varios autores.

INFOR (2011) destaca que existen estructuras hechas de postes y otras de sacos de arenas, que se usan para cauces de poca envergadura como pequeñas cárcavas. Dentro de las funciones que proporcionan estas estructuras están la de retener el suelo arrastrado por las aguas lluvias, infiltrar el agua, regular el flujo hídrico; disminuir su velocidad de arrastre y como consecuencia crear un área para la reforestación.



Figura 13. Secuencia de imágenes que muestran la acumulación de sedimentos en un dique luego de las lluvias (Navarro *et al.*, 2001).

Tratamientos de incremento de la infiltración:

Las zanjas de infiltración son obras que permiten capturar el agua de las lluvias y reducir partículas de suelo por arrastre. Son recomendadas para zonas semiáridas, donde la escorrentía provocada por lluvias intensas genera erosión de suelos (Labra *et al.*, 2018). Pérez (2001) estudió el impacto de las zanjas de infiltración en zonas de la Región del Maule, Chile, sobre la productividad de bosques establecidos en dos modalidades: con y sin zanjas de infiltración. El estudio demuestra que el impacto de las zanjas de infiltración se traduce en un aumento promedio de un 61% de los volúmenes totales de madera, en edades de corta entre 18 y 21 años. Pizarro *et al.* (2008) destacan que las zanjas de infiltración, en combinación con plantaciones, no sólo permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación, sino que han demostrado su alta eficiencia en la captura de humedad, lo que genera un desarrollo más rápido de las plantaciones.

Los resultados obtenidos por Lemus, *et al.* (2010) demuestran que más cercano a la zanja existe una mayor humedad, la que va disminuyendo gradualmente con la distancia, siendo más eficaz con mayor cantidades de lluvia. También que posee un efecto beneficioso sobre el crecimiento de los árboles cercanos a la zanja y que desempeñan un papel importante para reducir las pérdidas por erosión del suelo dentro y fuera del sitio, debido a su gran capacidad de almacenamiento de escorrentía.



Figura 14. Zanjas de infiltración (MMAyA, s.f.).

Por otro lado, están las terrazas. FAO (2000), define a las terrazas como una estructura física compuesta por un dique y un canal, de tierra o piedra, construida sistemáticamente en el terreno, en el sentido perpendicular a la pendiente, de manera que el agua que escurre sobre el suelo intercepte. Posteriormente, esta se infiltra, evapora o se desvía hacia un lugar determinado, debidamente protegido y con una velocidad controlada que no ocasione erosión en el canal. Los objetivos principales de las terrazas son: aumentar la infiltración del agua en el suelo, reducir la escorrentía superficial, disminuir la velocidad de las aguas lluvias, retener los sedimentos transportados por el flujo hídrico y acumular el agua de las lluvias para el riego (Francke *et al.*, 2004).

Es importante destacar que las obras de terrazas requieren de altos costos, por lo que debe ser usado solamente cuando no es posible controlar la erosión con la adopción de otras prácticas más simples de conservación de suelo. Terrazas bien planificadas y correctamente construidas y conservadas, pueden disminuir considerablemente las pérdidas de suelo por erosión (FAO, 2000).

FAO (2000) indica que los resultados obtenidos por IAPAR (1984) demuestran que con las prácticas del terraceo, es posible reducir a la mitad las pérdidas de suelo por erosión, independientemente del sistema de cultivo utilizado. Por otro lado, los resultados obtenidos por Lemus *et al.* (2010) demostraron que van a existir mayores contenidos de humedad bajo microterrazas en comparación a sectores donde no se implemente esta obra.



Figura 15. Tipos de terrazas más utilizados: terrazas individuales, terrazas angostas y terrazas de banco (MMAyA, s.f.).

En el estudio realizado por Lemus *et al.* (2010) sobre los efectos de los tratamientos de microterrazas, zanjas de infiltración y rotocultivo en lugares de la zona semiárida de Chile, se concluyó que cada una de las técnicas pueden aumentar significativamente la disponibilidad del recurso hídrico en zonas semiáridas, y a su vez aumentan la productividad para especies propensas a la sequía, provocando que aumente el dosel arbóreo, lo que hace que se reduzca el efecto que produce el impacto de las gotas, promoviendo la infiltración, reduciendo la escorrentía y por ende la pérdida de agua y suelo. Los resultados también demuestran que es importante el diseño e implementación óptimo de las obras bajo las diferentes condiciones físicas y ambientales del suelo.

Tratamientos lineales de control en laderas y taludes:

Robin y Burgoa (2016) indican que otra solución frente a esta problemática es la construcción de barreras para el control de sedimentos, las cuales son estructuras temporales ubicadas a lo largo de un área perturbada que reducen la velocidad de la escorrentía y el desplazamiento de sedimentos en una pendiente. Estas estructuras capturan y acumulan el flujo laminar y concentrado de la escorrentía y liberan el agua lentamente para evitar la erosión. Todas estas barreras son colocadas a la misma elevación a lo largo de la curva de nivel para interceptar el flujo laminar.

Dentro de las barreras para el control de sedimentos se encuentra el tratamiento lineal de fajinas, el cual es una metodología sencilla y económica que permite controlar el arrastre de sedimentos y la erosión del suelo en laderas expuestas a erosión e incendiadas. El estudio realizado por Tálamo *et al.* (2017) sobre el control del arrastre de sedimentos post-incendios y la efectividad de fajinas en un bosque seco montañoso, demostró que, a mayor número de fajinas, y ubicándolas en partes bajas e intermedias de la ladera existe un mayor control del arrastre de sedimentos.



Figura 16. Tratamiento lineal de fajas en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.

Otra barrera para el control de sedimentos es el tratamiento lineal de sacos rellenos con suelo. Ruiz (2005) indica que es una práctica rápida y de bajo costo, que permite lograr la disminución de la erosión superficial en taludes, disipación de la escorrentía superficial, reducción de la velocidad del flujo hídrico y acumulación de sedimentos. Además, es utilizada en situaciones donde no es factible implementar estructuras más permanentes (Zanjas y desagües subterráneos) (Robins y Burgoa, 2016).



Figura 17. Tratamiento lineal de sacos en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.

Tratamientos de cubiertas superficiales:

Francke *et al.* (2004) indican que los tratamientos de cubiertas superficiales reducen las fluctuaciones en las temperaturas del suelo para fomentar una rápida germinación de las semillas y un menor estrés por temperaturas sobre las plántulas, reteniendo la humedad del almácigo con la finalidad de obtener una rápida germinación de las semillas y crecimiento

de las plántulas. Posteriormente las cubiertas se transforman en materia orgánica valiosa que se incorporan al suelo para otorgar humedad a largo plazo y brindar, al mismo tiempo, buena retención de nutrientes a las plantas.



Figura 18. Cubierta superficial con ramas en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata.

Tratamientos de control y estabilización de taludes:

Dentro de las prácticas, por otro lado, destacan las cubiertas orgánicas convencionales y no convencionales, dentro de estas se encuentran los productos enrollables para el control de erosión llamados *rolled erosion control products* (RECP, por sus siglas en inglés). Los objetivos de estas obras es la estabilización de taludes de pendientes inclinadas y en algunos casos en forma paralela sembrar pastos en el talud (Francke *et al.*, 2004). Díaz (2011) indica que entregan beneficios al ayudar a la estabilización del suelo, reduciendo inmediatamente la erosión producida por el viento y el agua.

Francke *et al.* (2004) indica que las cubiertas superficiales con malla resultan apropiadas para taludes con pendientes escarpadas con suelos de baja fertilidad, afectados por procesos de intensa escorrentía superficial, situación que se da en zonas semiáridas. Esta obra se recomienda emplear en áreas difíciles de estabilizar mediante los métodos tradicionales.



Figura 19. Tratamiento de cubierta superficial con malla en Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.

Por otro lado, para controlar y estabilizar los taludes se utilizan muros de contención con sacos rellenos, neumáticos o postes de madera. Francke *et al.* (2004) indica que a través de este tipo de tratamientos se pueden estabilizar áreas inestables de taludes, de causes y de cárcavas, así como también, amortiguar el impacto lateral de flujos hídricos en cursos de agua.

En Bogotá, Colombia se llevó a cabo un estudio sobre la estabilización de Taludes por medio de muros de neumáticos por Barón y Sánchez (2014), en una zona donde se generan asentamientos y movimientos de tierra en grandes masas. La implementación de esta obra resultó positiva al comprobarse que sirve para controlar los deslizamientos presentes en la zona.



Figura 20. Tratamiento de control de taludes mediante muros de neumáticos en fase de estabilización y sacos rellenos (Francke *et al.*, 2004).

Tratamientos biológicos:

Francke *et al.* (2004) destaca en tratamientos biológicos la hidrosiembra. Este tratamiento tiene como objetivo permitir el establecimiento de cobertura vegetal en áreas con erosión severa en taludes de pendientes escarpadas. También recomienda utilizar en áreas difíciles de estabilizar y de terrenos escarpados, además de utilizar de manera complementaria tratamientos lineales en la superficie del talud en condiciones de alta escorrentía y de arrastre de sedimentos.

Los resultados obtenidos por Romero y Rivera (2020) sobre la efectividad de la hidrosiembra como técnica de restauración en suelos intervenidos con actividades mineras, indican que la revegetación con hidrosiembra es una técnica innovadora de estabilización de taludes y protección ambiental que puede ser aplicada en taludes con diferentes pendientes. Esta técnica implica el uso de materiales biodegradables denominado mulch, fertilizante, agua y semillas nativas. El uso de plantas como material para estabilizar el suelo está asociado al empleo de materiales secundarios, cuya finalidad es ayudar a establecer condiciones físicas en las primeras fases establecimiento. En procesos de restauración ambiental, la identificación apropiada de las especies florísticas para cada sitio intervenido es fundamental, con ello se puede lograr buenos resultados de hidrosiembra. A su vez, las ventajas que se ha experimentado con este método, es que, la vegetación se establece un 20-25 % más rápido que con cualquier otra alternativa mecánica o siembra manual, donde las semillas y abonos se distribuyen de forma manual.



Figura 21. Secuencia de imágenes que muestran la efectividad de la hidrosiembra (Francke *et al.*, 2004).

Los resultados de Francke *et al.* (2004) indican que la combinación de técnicas de control de erosión y de forestación, con enfoques integrales de uso múltiple a nivel de microcuencas, permiten recuperar en forma sostenible zonas rurales degradadas y pauperizadas. Es decir, el OCAS en conjunto con la incorporación de especies vegetales arbóreas y arbustivas cuando la calidad del suelo remanente lo permite hace posible cosechar y acumular agua, nutrientes, semillas y suelo, con lo cual además se logra el control de la erosión hídrica y con ello disminuir el deterioro de los suelos tan frecuente en las zonas áridas y semiáridas (Labra *et al.*, 2018).

Oasificación:

Una solución frente a la desertificación es la oasificación. Martínez de Azagra (1999 y 2002) ha propuesto el neologismo oasificación, como antónimo de desertificación por aridez edáfica. Azagra y Lemus (2005), mencionan que la oasificación es una técnica que mediante microembalses cosecha agua, suelo y nutrientes, aumentando la infiltración y por ende permite que haya una mayor disponibilidad de agua en el suelo, la cual es aprovechada por las plantas, posibilitando el establecimiento de una vegetación cada vez más avanzada. Estas formaciones vegetacionales protegen el suelo frente a la erosión y a la vez aportan materia orgánica al suelo, facilitando la evolución del suelo hacia un perfil más fértil, profundo y maduro. Este proceso es fundamental para restaurar un territorio degradado, lográndose así el control de la erosión hídrica, la cual es frecuente en las zonas áridas y semiáridas.



Figura 22. Zanjas de infiltración (microembalses). Fotografía tomada por Guillermo Navarro en Pumanque Secano interior, Región de O'Higgins (Martínez y Lemus, 2005).

3.2 Monitoreo ensayo de erosión perteneciente al proyecto GEF corredores biológicos de montaña

A continuación, se presentan los resultados y análisis correspondientes al quinto monitoreo correspondiente al año 2021 y a la vez una comparación con los monitoreos realizados desde el año 2018. Es importante destacar que, los números negativos indican sedimentación, de lo contrario, los números positivos representan erosión.

3.2.1 Promedio de la erosión y sedimentación media neta de las mediciones históricas efectuadas

En la Figura 23, se observa que la media en todas las mediciones efectuadas se mantiene en valores positivos, es decir, el suelo en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata se encuentra en proceso de erosión. En la tercera medición (2019) se presenta la mayor dispersión de datos, por lo contrario, en la primera medición (2018) se presenta la menor dispersión de datos. Finalmente, la mayor cantidad de erosión registrada se presenta en la cuarta medición (2020), por lo contrario, la menor cantidad de erosión, es decir, la mayor cantidad de sedimentación se presenta en la tercera medición (2019). Finalmente, los resultados del análisis estadístico arrojaron que los datos no poseen diferencias significativas en cada medición, lo que indica que entre mediciones las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varía por medición (Apéndice I).

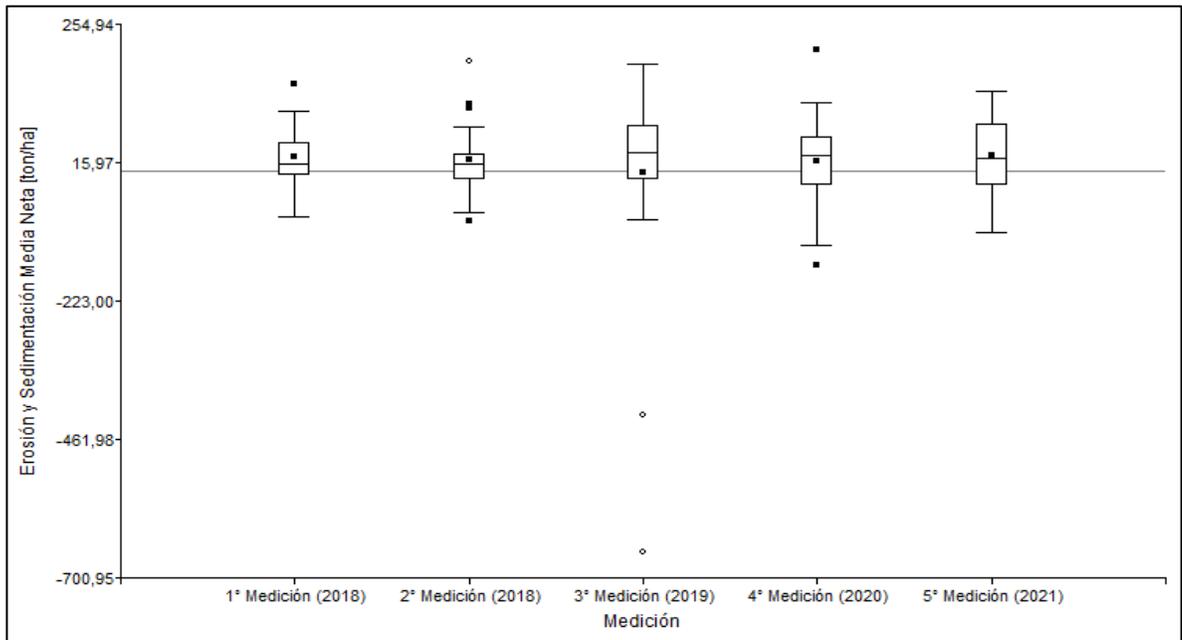


Figura 23. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de las mediciones históricas efectuadas.

3.2.2 Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los bloques en las mediciones históricas efectuadas

En la Figura 24, se observa que la erosión y sedimentación media neta en el bloque 4 (ladera exposición sur) es el que presenta una mayor dispersión de sus datos y a su vez contiene el valor más alto de erosión y más alto de sedimentación con un total de 211,49 ton/ha y 657,50 ton/ha respectivamente. Por otro lado, el bloque 1 (ladera exposición norte) y bloque 2 (ladera exposición norte) son los que presentan menor dispersión de sus datos.

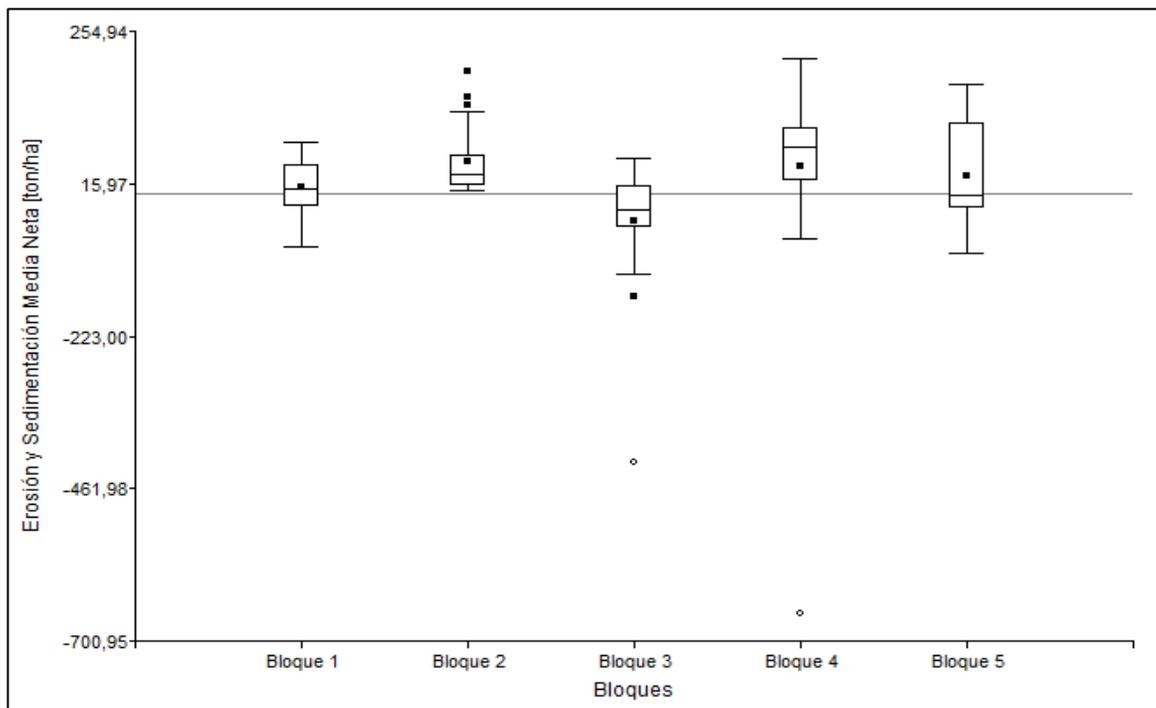


Figura 24. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los bloques en las mediciones históricas efectuadas.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico indican que existen diferencias significativas entre bloques, es decir, las medias son diferentes, por ende, la erosión y sedimentación media neta varía entre los bloques. A través de la comparación de apares de medias se comprueba que el bloque 3 (ladera exposición sur) tiene una distribución con media negativa, es decir, la mayoría de sus datos se concentran en valores negativos lo que indica que durante las mediciones históricas efectuadas predomina la sedimentación. Por lo contrario, el bloque 4 (ladera exposición sur) la mayoría de sus datos se mantienen en un rango con valores positivos y a su vez tiene la mayor media, lo que indica que se encuentra en proceso de erosión. En cuanto al resto de los bloques, sus medias son positivas manteniendo la mayoría de sus datos en el rango positivo, por lo que, se encuentran en proceso de erosión (Apéndice I).

3.2.3 Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los tratamientos en las mediciones históricas efectuadas

En la figura 25, se observa que el tratamiento de cubierta superficial con mallas es el que presenta una mayor distribución de sus datos y a su vez contiene el valor más alto de sedimentación. Por lo contrario, la franja control y el tratamiento lineal con sacos rellenos con suelo son los que presentan menor distribución de sus datos. Por otro lado, el tratamiento lineal con fajinas de ramas presenta el valor más elevado de erosión. Finalmente, se observa que todos los tratamientos presentan su media positiva, lo que indica erosión.

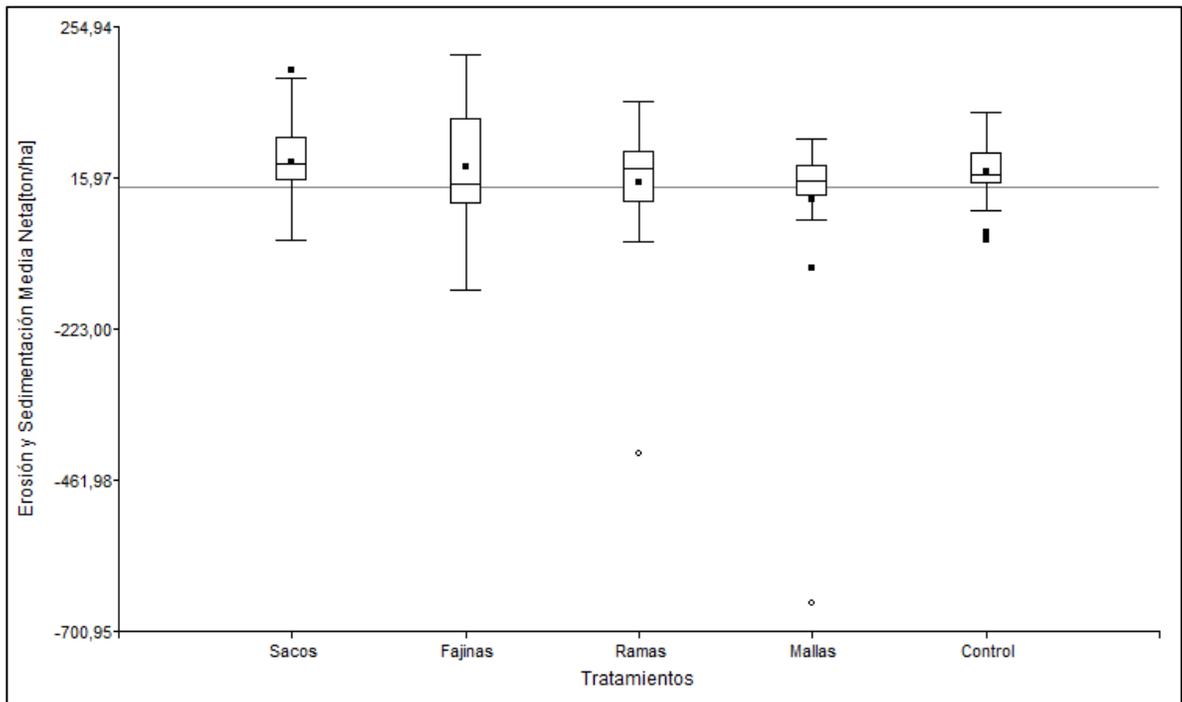


Figura 25. Promedio de la erosión y sedimentación media neta de los tratamientos en las mediciones históricas efectuadas.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos, es decir, las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varía entre los tratamientos en las mediciones históricas efectuadas (Apéndice I).

3.2.4 Erosión y sedimentación media neta de los bloques en cada medición efectuada

En la figura 26 se puede observar el comportamiento de la erosión y sedimentación media neta durante las cinco mediciones realizadas. El bloque 1 (ladera norte), bloque 2 (ladera norte) y bloque 5 (ladera sur bajo bosque de peumos), presentan un comportamiento dinámico en donde tienen aumentos y disminuciones de erosión y sedimentación media neta entre una medición y otra. El bloque 2 (ladera norte) a lo largo de las cinco mediciones ha presentado erosión alta y severa (Morgan, 2005). Por lo contrario, el bloque 3 (ladera sur) desde la primera a la quinta medición presenta sedimentación. Por último, se puede observar que en la quinta medición el bloque 2 (ladera norte), bloque 5 (ladera sur bajo bosque de peumos) y 4 (ladera sur) presentan erosión severa (Morgan, 2005), el bloque 1 (ladera norte) presenta erosión ligera (Morgan, 2005) y el bloque 3 (ladera sur) presenta sedimentación. Sin embargo, los resultados del análisis estadístico para esta última medición indica que entre bloques no existen diferencias significativas, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varía entre los bloques (Apéndice II).

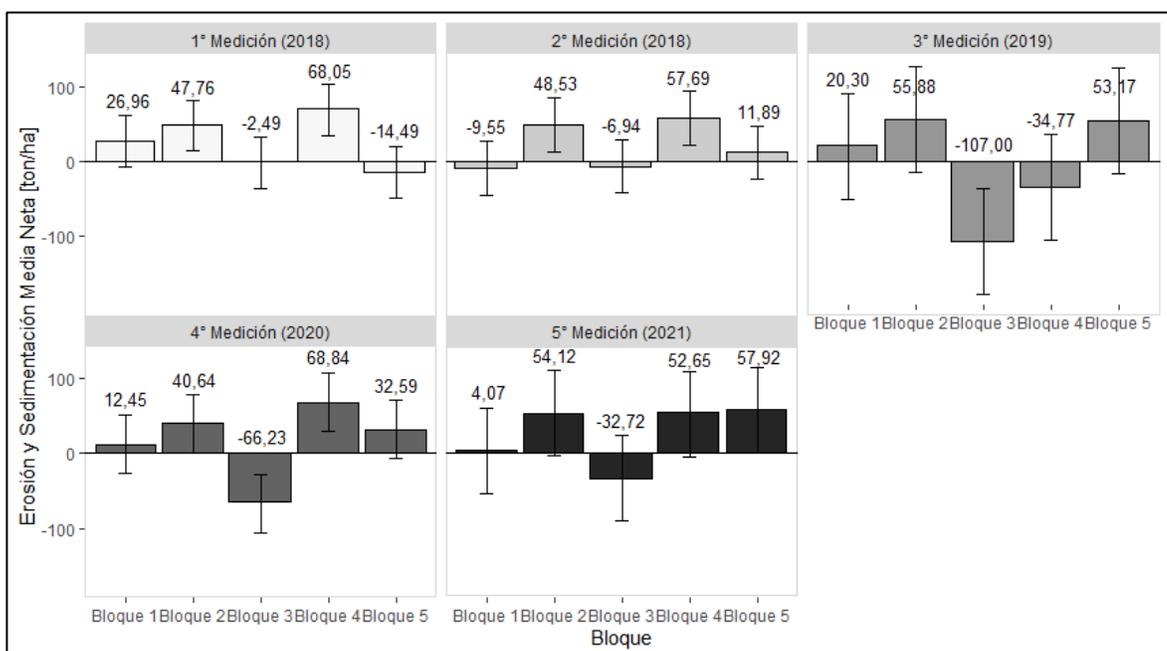


Figura 26. Erosión y sedimentación media de los bloques en cada medición efectuada.

3.2.5 Erosión y sedimentación media neta de las obras de conservación de suelo en cada medición efectuada

En la Figura 27, se puede observar que las obras de conservación de suelo y agua y la franja control tienen un comportamiento dinámico a lo largo del tiempo, no siguiendo una tendencia clara. Esto se ve reflejado entre una medición y otra en donde los tratamientos presentan aumentos y disminuciones de erosión. Por ejemplo, al observar el tratamiento lineal de sacos rellenos con suelo en donde en la primera medición (2018) se encuentra con suelo erosionado, en la segunda medición (2019) presenta sedimentación para luego aumentar significativamente en la tercera medición llegando a presentar erosión severa (Morgan, 2005).

También se desprende que en el quinto monitoreo (2021) el ensayo sin tratamiento fue el único que presentó sedimentación. Por otro lado, el tratamiento que presenta una menor cantidad de erosión es el tratamiento de cubierta superficial con mallas presentando una erosión ligera (Morgan, 2005). Por lo contrario, el tratamiento que presentó mayor cantidad de erosión es el tratamiento de cubierta superficial con ramas presentando una erosión severa con más de 70 ton/ha (Morgan, 2005). Sin embargo, los resultados del análisis estadístico señalan que los tratamientos no presentan diferencias significativas, en la quinta medición (2021) (Apéndice II).

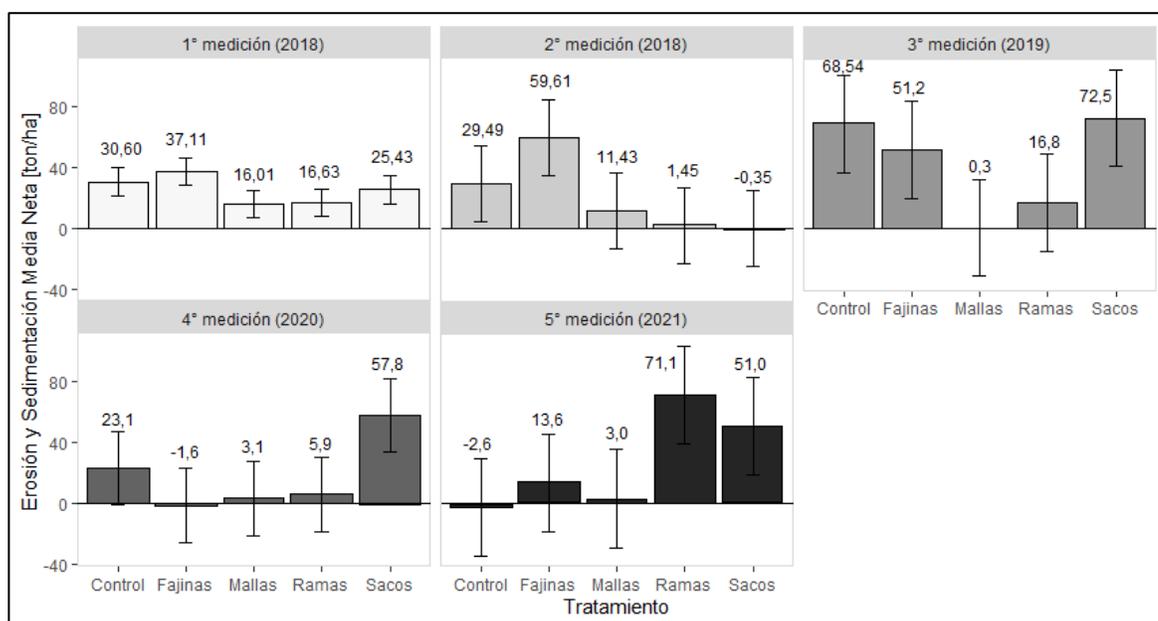


Figura 27. Erosión y sedimentación media de los tratamientos en cada medición efectuada.

3.2.6 Discusión de los resultados del ensayo de erosión

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en las parcelas con clavos de erosión se obtiene que en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata durante las cinco mediciones el suelo se encuentra en proceso de erosión.

En la quinta medición (2021) se obtuvo que el bloque 3 (ladera sur) es el único que presenta sedimentación, lo sigue el bloque 1 (ladera norte) con erosión ligera (Morgan, 2005), por lo contrario, el bloque 2 (ladera norte), bloque 5 (ladera sur bajo el bosque de peumos) y 4 (ladera sur) presentan erosión severa (Morgan, 2005). Sin embargo, los análisis estadísticos indican que la erosión y sedimentación media neta no varía entre los bloques en la quinta medición. Por último, es importante destacar que los bloques presentan un comportamiento dinámico entre mediciones y entre bloques, lo que se explica porque existen diferentes factores que afectan la erosión del suelo. Castañeda (s.f.) detalla que los factores que condicionan la erosión del suelo son:

- La cantidad de agua caída, época del año en que cae, intensidad de la lluvia y duración. Mientras mayor sea la intensidad de la lluvia en un periodo de tiempo corto, va a provocar mayor cantidad de erosión. Periodos superiores a 24 horas o intervalos entre lluvias inferiores a un día, van a provocar que el suelo se sature y aumente el escurrimiento superficial.
- La densidad de cubierta vegetal. A mayor cubierta vegetal, existe un menor riesgo de erosión debido a que el suelo se encuentra protegido.
- Textura, estructura y permeabilidad del suelo. Suelos con texturas medias a livianas con bloques subangulares, son consideradas como deseables para la conservación de suelos.
- Propiedades físicas y químicas del suelo, determinan la susceptibilidad a la erosión (Cabria et al., 2002).
- Profundidad efectiva del suelo: es el sector hasta donde las raíces de las plantas pueden penetrar. Este factor tiene importancia por su incidencia en la capacidad de retención de agua.
- Pendiente. A mayor sea la pendiente mayor es la susceptibilidad a la erosión.
- Exposición. Laderas con exposición norte presentan suelos con mayor grado de erosión

y más delgados en comparación a los de exposición sur, cuya ladera posee condiciones favorables para establecer una mayor densidad de cobertura vegetal, encontrándose el suelo más protegido.

Dicho esto, resulta fundamental desarrollar futuras investigaciones que incluyan estas nuevas variables y de esta forma se puedan complementar con este estudio. Por consiguiente, se podrá evaluar de manera íntegra qué métodos se adaptan mejor en cada situación, debido a que las obras de conservación de suelos y aguas pueden ser más eficientes en una ladera que en otra.

Para finalizar, el comportamiento de la erosión y sedimentación media neta en la quinta medición (2021) entre los tratamientos indica que la franja control fue la única que presentó sedimentación. Entre tratamientos, la cubierta superficial con mallas fue la más efectiva presentando erosión ligera (Morgan, 2005), por el contrario, el tratamiento cubierta superficial con ramas fue el que obtuvo mayor erosión presentando erosión severa (Morgan, 2005). Sin embargo, los análisis estadísticos indican que la erosión y sedimentación media neta no varía entre los bloques en la quinta medición.

Es importante destacar que las obras de conservación de suelo y agua y la franja control tienen un comportamiento dinámico a lo largo del tiempo, no siguiendo una tendencia clara. Esto se debe a que arriba de las parcelas está ocurriendo erosión, lo que hace que al pasar los años las obras de conservación de suelos y aguas se colmaten, lo que produce que en un principio ocurra sedimentación por lo que las obras en este periodo serían efectivas, sin embargo, al pasar al siguiente año, al estar las obras colmatadas vuelven a escurrir los sedimentos, de esta forma no se logran captar los sedimentos, por lo que se produce nuevamente proceso de erosión. Dicho esto, es importante, limpiar, despejar y mantener las obras de conservación de suelos y aguas con el objetivo de asegurarse de que estas no se colmaten y por ende pierdan su propósito. Labra *et al.* (2018) describen y entregan información detallada sobre la mantención de estas y otras obras de conservación de suelos y aguas.

3.3 Monitoreo ensayo de revegetación perteneciente al proyecto GEF corredores biológicos de montaña

A continuación, se presentan los resultados y análisis correspondientes al tercer monitoreo año 2021 y a la vez una comparación con los monitoreos realizados en los años anteriores 2019 y 2020. En caso del tratamiento de siembra directa (SD), este no fue considerado dentro del análisis debido a que al momento de realizar el monitoreo su mortalidad fue del 100%.

3.3.1 Sobrevivencia por tratamientos

Sobre la base de los resultados obtenidos del monitoreo del año 2021, y considerando los tres tratamientos de plantación con un total de 180 plantas cada uno, se obtiene que el tratamiento que presenta el mayor porcentaje de sobrevivencia es el tratamiento de PL, lo sigue el tratamiento de CBL y finalmente el tratamiento de CSA. Estos resultados pueden ser considerados poco efectivos de acuerdo con Centeno (1993) por presentar un porcentaje de sobrevivencia menor al 40% (Figura 28).

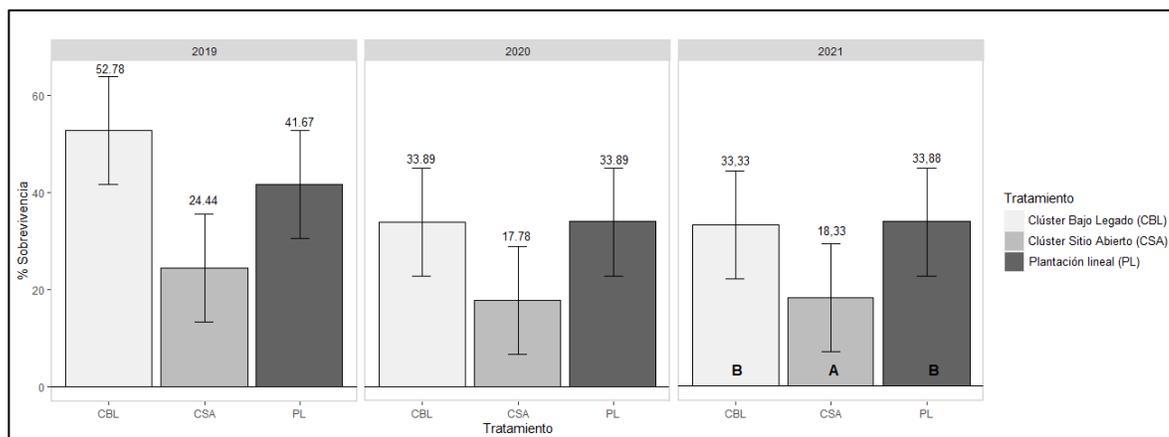


Figura 28. Sobrevivencia (%) por tratamiento en tres períodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas en cada tratamiento, es decir, las medias entre tratamientos son diferentes, por ende, la sobrevivencia varía entre tratamientos (Apéndice III). A través de la comparación de pares de medias se comprueba que la mayor tasa de sobrevivencia se presenta en PL y CBL.

Al comparar los tres años monitoreados se puede observar una disminución en el porcentaje de sobrevivencia por tratamiento, sin embargo, el tratamiento de PL sigue siendo el mayor

en los tres casos. Si se comparan los datos de sobrevivencia obtenidos en el monitoreo del año 2019 con el del año 2021 se puede observar una disminución del 20% de la sobrevivencia para el tratamiento CBL, lo sigue el tratamiento de CBL con un 19,4% y finalmente un 7,8% en PL. Al comparar los resultados obtenidos entre el monitoreo del año 2020 y 2021, la sobrevivencia por tratamientos se muestra constante, con menos del 1% de diferencia entre tratamientos.

3.3.2 Sobrevivencia por especies

Entre las seis especies utilizadas en el ensayo de revegetación para el año 2021 las dos especies que presentan mayor porcentaje de sobrevivencia son; *S. candolleana* y *V. caven* presentando una sobrevivencia regular (Centeno, 1993). Por lo contrario, la especie que presenta una menor sobrevivencia es *C. odorifera* presentando sobrevivencia mala (Centeno, 1993) (Figura 29).

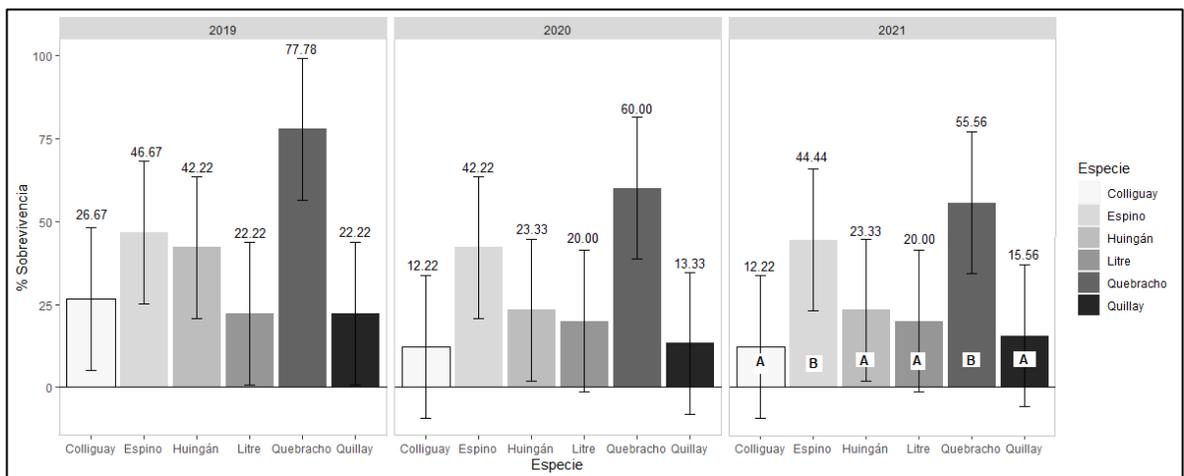


Figura 29. Sobrevivencia (%) por especies en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas entre especies, es decir, las medias entre especies son diferentes, por ende, la sobrevivencia varía entre especies (Apéndice III). A través de la comparación de apares de medias se comprueba que las especies que poseen mayores tasas de sobrevivencia en el lugar son *S. candolleana* y *V. caven*.

Al comparar los tres años monitoreados se puede observar una disminución en la sobrevivencia por especies a medida que pasan los años, sin embargo, el que presenta mayor porcentaje de sobrevivencia en los tres monitoreos es *S. candolleana*, manteniendo su porcentaje de sobrevivencia mayor al 50%.

3.3.3 Sobrevivencia de especies por tratamientos

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que *S. candolleana* es la especie que presenta mayor sobrevivencia y a la vez en los tres tratamientos su supervivencia supera el 50%. Lo sigue *V. caven*, en donde los tratamientos para esta especie más favorables son CBL y PL alcanzando un 50% de sobrevivencia en cada uno de ellos, por otro lado, en CSA se obtuvo un 34,5% de sobrevivencia. Las demás especies presentan una sobrevivencia menor al 50% en los tres tratamientos, sin embargo, CSA es la que presenta menor porcentaje de sobrevivencia en las seis especies estudiadas, llegando a un 100% de mortalidad para el *C. odorífera* (Figura 30).

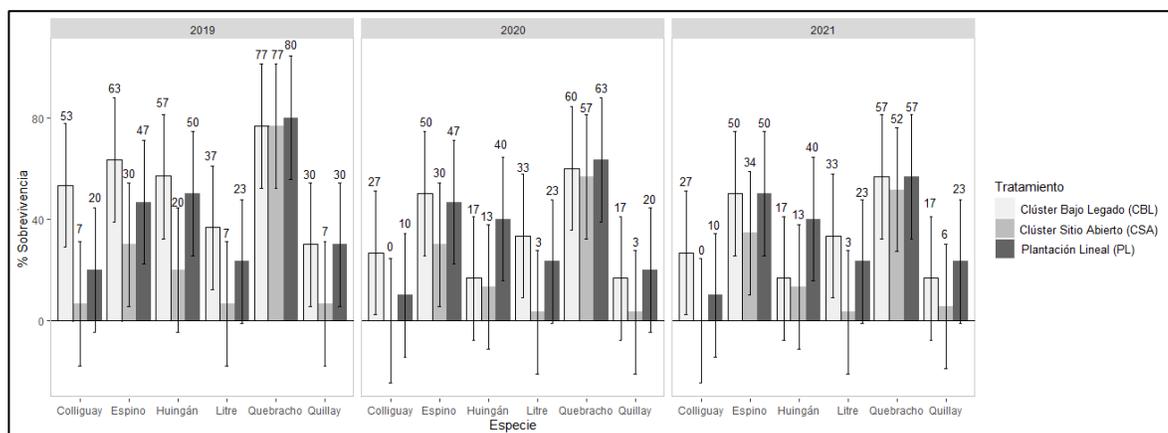


Figura 30. Sobrevivencia (%) de especies por tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019, 2020 y 2021).

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que no existen diferencias significativas en cada tratamiento por especies en la tercera medición, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la sobrevivencia entre la interacción entre tratamientos por especies no varía (Apéndice III).

3.3.4 Vitalidad por tratamientos

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que el tratamiento que presenta mayor porcentaje de plantas con vitalidad en buen estado (0-20% muerto) es PL, lo sigue CBL y por último CSA, a su vez, PL es la que presenta menor mortalidad en conjunto con CBL (Figura 31). No obstante, los resultados del análisis estadístico arrojaron que no existen diferencias significativas en cada tratamiento por especies (Apéndice IV).

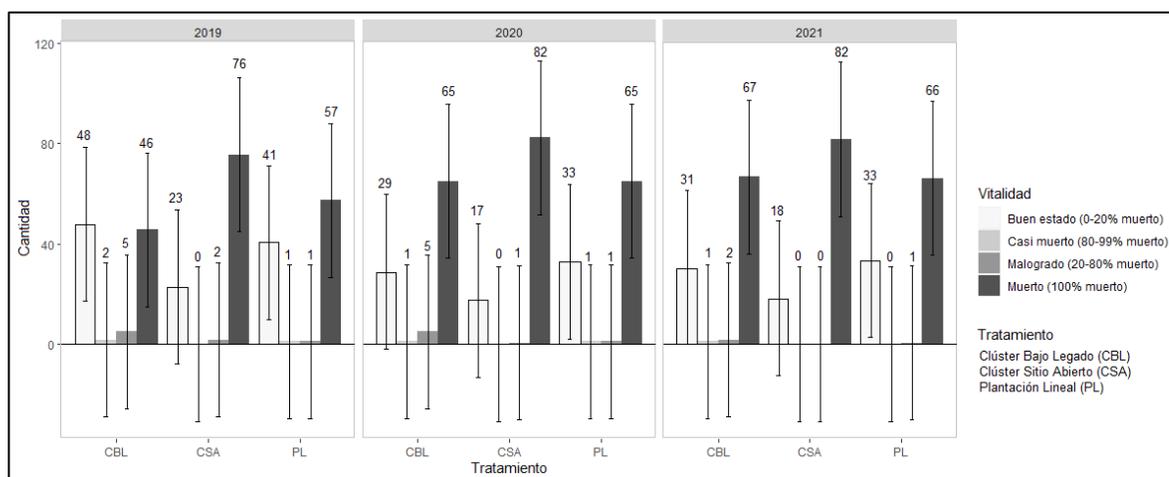


Figura 31. Cantidad de plantas por vitalidad (%) en cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021).

3.3.5 Vitalidad por especies

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se observa que las especies que tienden a presentar un mayor porcentaje de plantas con vitalidad en buen estado (0-20% muerto) son; *S. candolleana* y *V. caven*, además, son las especies que presentan menor porcentaje de mortalidad. Por lo contrario, el resto de las especies presentan vitalidad en buen estado (0-20% muertas) menor al 25% y mortalidad superior al 75% (Figura 32). Sin embargo, los resultados del análisis estadístico señalan que no existen diferencias significativas en vitalidad por especies (Apéndice V).

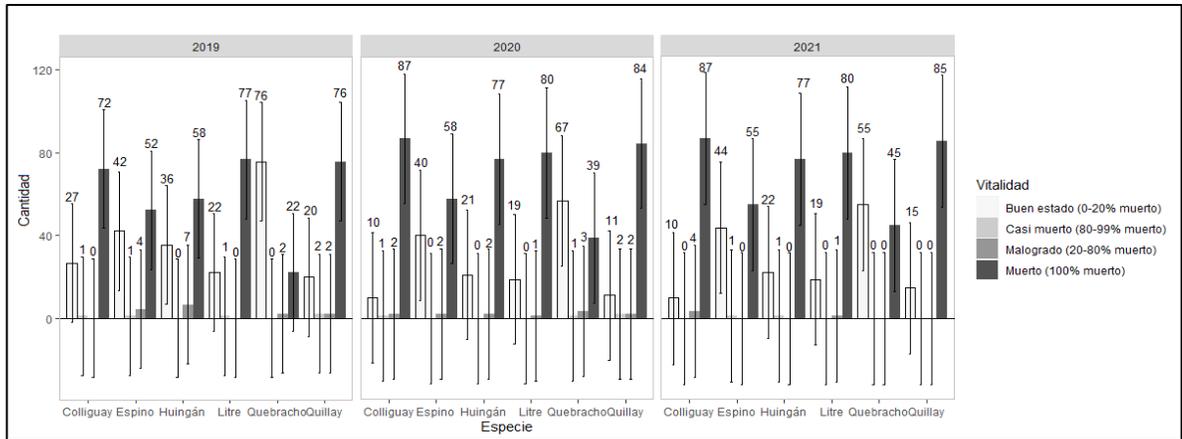


Figura 32. Cantidad de plantas por vitalidad (%) en cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021).

3.3.6 Altura promedio por tratamientos

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que el tratamiento que presenta una altura promedio mayor es CSA, por otro lado, el tratamiento que presenta altura promedio menor es CBL, sin embargo, los tres tratamientos tienen altura promedio mayor a los 70 cm. También es importante destacar que al pasar los años la altura promedio por tratamiento ha ido en aumento, teniendo una diferencia del 20% entre la altura promedio del año 2019 y el año 2021 (Figura 33).

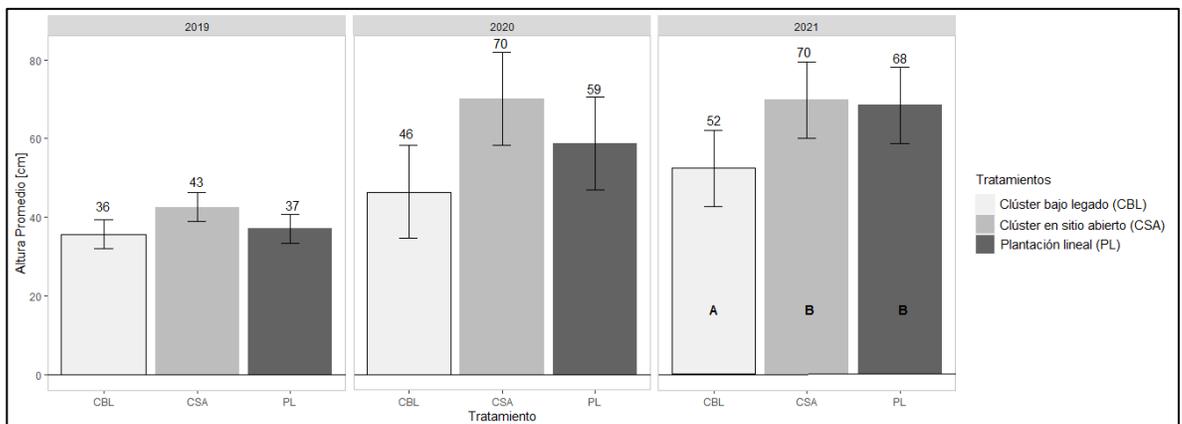


Figura 33. Altura promedio (cm) de cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019, 2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que las alturas medias son diferentes (Apéndice VI). A través de la comparación de pares de medias se comprueba que la mayor tasa de crecimiento se presenta en CSA y PL.

3.3.7 Altura promedio por especies

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que la especie que presenta una altura promedio mayor es *S. candolleana* con 81 cm, lo sigue *S. polygamus* con una altura promedio de 67 cm y *V. caven* con 62 cm. Con respecto a las demás especies estas presentan una altura promedio menor a los 45 cm, siendo menor la altura promedio de *C. odorifera* y *L. caustica* con 37 cm. También es importante destacar al igual que el gráfico anterior al pasar los años la altura promedio por tratamiento ha ido en aumento. Finalmente, se puede observar que desde el 2019 al 2021 *S. candolleana* ha sido la especie con mayor crecimiento con un total de 35,5 cm en dos años (Figura 34).

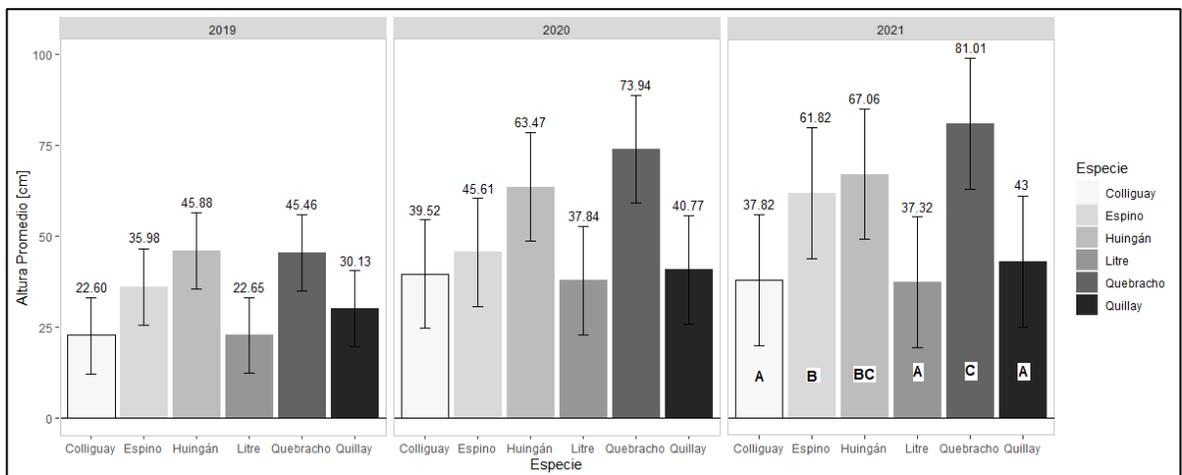


Figura 34. Altura promedio (cm) de cada especie en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento con efectividad intermedia. Letra C: tratamiento más efectivo.

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas entre las especies (Apéndice VI). A través de la comparación de apares de medias se comprueba que la mayor tasa de crecimiento se presenta en *S. candolleana* y *S. polygamus*.

3.3.8 Altura promedio por especies y tratamientos en el tercer monitoreo (2021)

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas en cada especie por tratamientos (Apéndice VI).

A través de la comparación de pares de medias se observa que *S. candolleana* (quebracho), es una especie que sin importar el tratamiento que se aplique (PL, CSA o CBL) este presenta las mayores alturas, sin embargo, el mejor método sería la combinación quebracho en CSA. Para *V. caven*, esta especie presenta un mayor crecimiento si se planta bajo el tratamiento de Plantación Lineal. Lo sigue *S. polygamus* con un mayor crecimiento en el tratamiento de PL. *Q. saponaria* tiene sus mayores alturas en el tratamiento de PL y CSA. Por otro lado, *L. caustica* presenta su mayor crecimiento en el tratamiento de PL. Finalmente, *C. odorifera* es el que tuvo un menor crecimiento, sin embargo, el tratamiento que fue más efectivo es CBL y el menos efectivo para esta especie, en donde no existe sobrevivencia de especies es en el tratamiento de CSA (Figura 35).

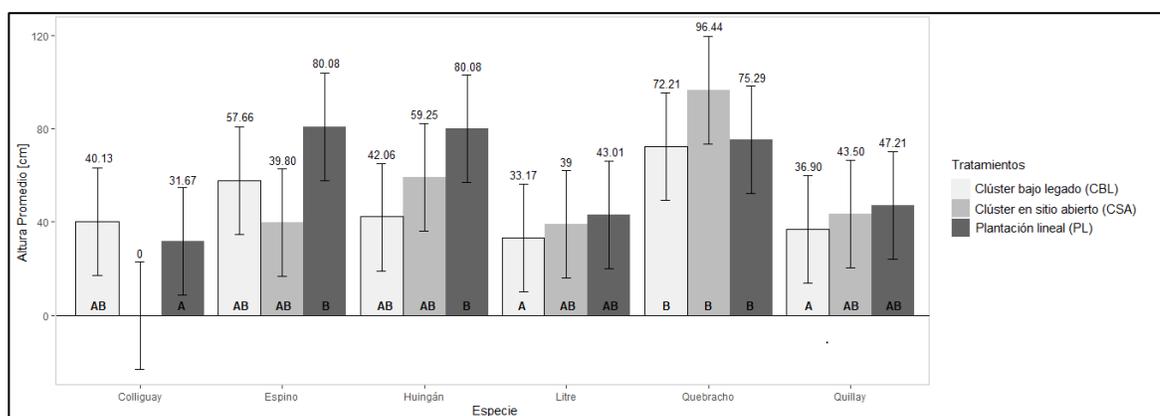


Figura 35. Altura promedio (cm) de cada especie por tratamientos en el tercer monitoreo (2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.

3.3.9 DAC promedio por tratamientos

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que el tratamiento que presenta mayores DAC promedio es CSA, por otro lado, el tratamiento que presenta un DAC promedio menor es CBL. También es importante destacar que al pasar los años el DAC promedio por tratamiento ha ido en aumento en el caso del tratamiento de PL y CSA, de lo contrario, para el tratamiento de CBL el DAC disminuyó, esto puede suceder debido a que en ese tratamiento aumentó la mortalidad (Figura 36).

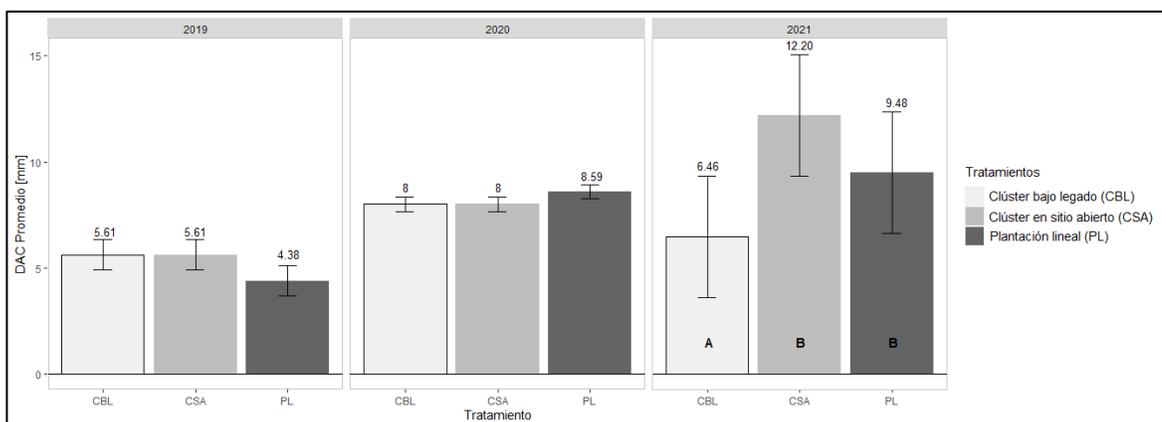


Figura 36. DAC promedio (mm) de cada tratamiento en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento más efectivo.

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas en tratamiento, lo que indica que las medias son diferentes, por ende, los tratamientos influyen en el DAC de las plantas (Apéndice VII). A través de la comparación de apares de medias se comprueba que la mayor tasa de DAC se presenta en los tratamientos de Clúster en Sitio Abierto (CSA) y plantación lineal (PL).

3.3.10 DAC promedio por especies

Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2021, se obtiene que la especie que presenta un DAC promedio mayor es *S. candolleana* con 13,71 mm, lo sigue *S. polygamus* con un DAC promedio de 9,5 mm y *L. caustica* con 7,39 cm. Con respecto a las demás especies estas presentan una altura promedio entre 6 mm y 4 mm, siendo menor el DAC promedio del *C. odorífera* con 4,04 mm cm. También es importante destacar al igual que la Figura 34, al pasar los años el DAC ha ido en aumento para algunas especies y para otras ha disminuido, esto se puede deber a que ha disminuido la sobrevivencia de las especies. Finalmente, se puede observar que desde el 2019 al 2021 *S. candolleana*, ha sido la especie que tiene un aumento de DAC con un total de 6,46 mm en dos años (Figura 37).

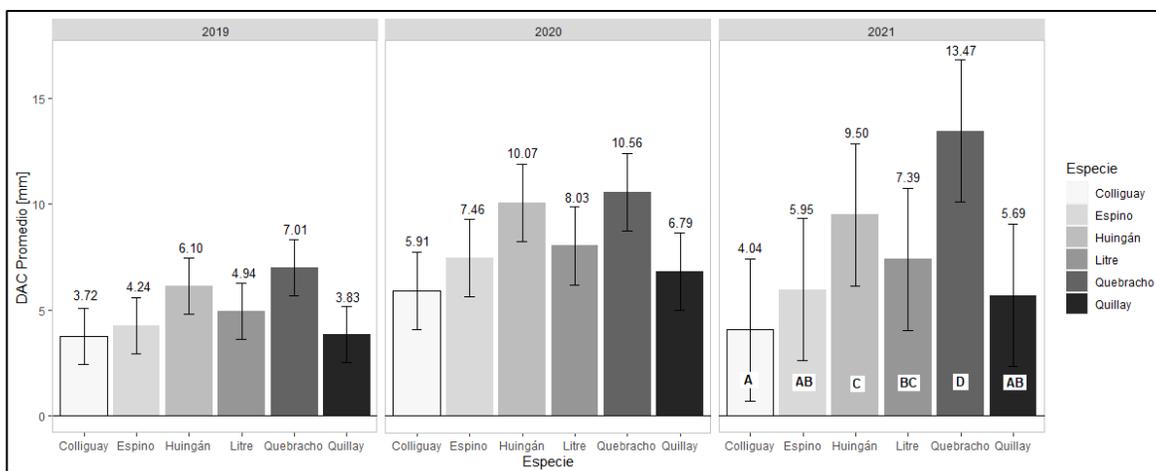


Figura 37. DAC promedio (mm) de cada especie en tres periodos de monitoreo (2019,2020 y 2021). Letra en común indica que los datos no son significativamente diferentes. Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B y C: tratamiento con efectividad intermedia. Letra D: tratamiento más efectivo.

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas en cada especie, lo que indica que las medias son diferentes, por ende, el DAC varía entre las especies (Apéndice VII). A través de la comparación de apares de medias se comprueba que las especies con mayores tasas de DAC es en primer lugar *S. candolleana*, lo sigue *S. polygamus* y por último *L. caustica*.

3.3.11 DAC promedio por especies y tratamientos

Los resultados del análisis estadístico arrojaron que existen diferencias significativas en cada especie por tratamientos, por ende, la altura varía entre las especies y los tratamientos (Apéndice VII).

Al hacer una comparación de apares de medias las letra común nos indica que *S. candolleana*, es la especie que presenta un mayor DAC en combinación con el CSA, sin embargo, es una especie que sin importar el tratamiento que se aplique (PL, CSA o CBL) este presenta los mayores valores. Lo sigue *L. caustica* el cual presenta mayores DAC si se emplea el tratamiento de PL. Posteriormente lo sigue *S. polygamus* presentando mayor DAC siendo plantada bajo el tratamiento de PL, sin embargo, los tres tratamientos son significativos entre ellos, es decir, los tres tratamientos presentan la misma media. En el caso de *V. caven* presenta sus mejores DAC bajo el tratamiento de PL. Por otro lado, *Q. saponaria* presenta su mayor DAC bajo el tratamiento de CSA y finalmente *C. odorifera* es el que presenta un menor DAC en sus tres tratamientos en comparación con las otras especies, sin embargo, el tratamiento que fue más efectivo es PL y el menos efectivo en donde no existe sobrevivencia de especies es en el tratamiento de CSA (Figura 38).

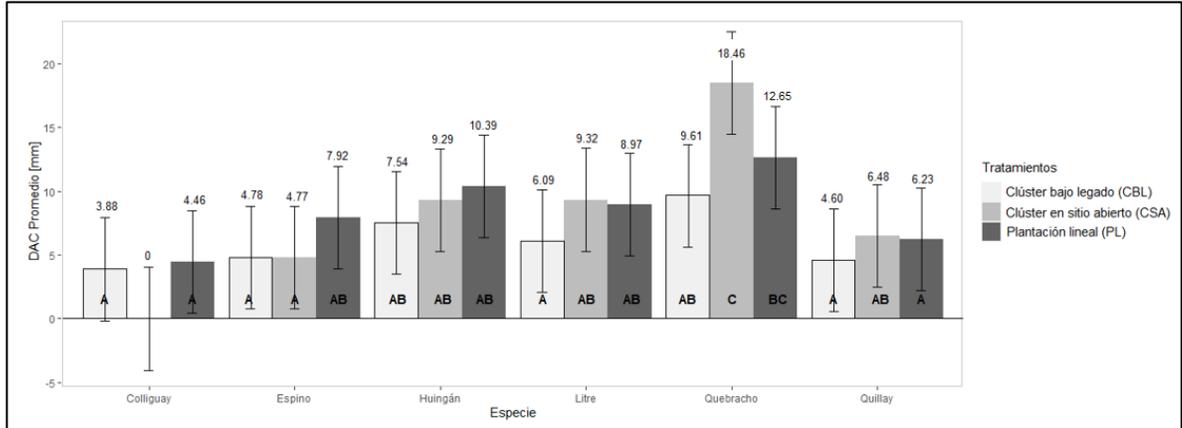


Figura 38. DAC promedio (mm) de cada especie por tratamientos en el tercer monitoreo (2021). Letra A: tratamiento menos efectivo. Letra B: tratamiento con efectividad intermedia. Letra C: tratamiento más efectivo.

3.3.12 Análisis y discusión resultados ensayo de revegetación

A través de los tres años monitoreados se observó que existe una disminución en el porcentaje de sobrevivencia en los tratamiento y especies, manteniendo lo propuesto en el monitoreo anterior por Paz (2020) donde indica que la razón de muerte se encuentra asociada a la sequía y ramoneo.

Los resultados obtenidos del monitoreo del año 2021 indican que el tratamiento de siembra directa es el menos efectivo debido no hubo sobrevivencia, por lo que se descarta utilizar este método para la revegetación del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, a menos que se incluyan mejoras como una mayor preparación del suelo y control de insectos y otros herbívoros.

Entre los tratamientos estudiados clúster bajo legado y plantación lineal fueron los que tuvieron los mayores porcentajes de sobrevivencia, sin embargo, los resultados pueden considerarse poco efectivos de acuerdo con Centeno (1993) por presentar un porcentaje de sobrevivencia inferior al 40%.

Mientras que el tratamiento clúster en sitio abierto es el tratamiento que presentó el menor porcentaje de sobrevivencia, lo que, en comparación con plantación lineal, ambos sin protección es probable que se deba a un deficiente manejo del riego. Por otro lado, en comparación con el tratamiento de clúster bajo legado, los individuos de *V. caven* crean un microclima bajo su copa, otorgando sombra protegiendo contra la radiación directa,

aportando a su vez un mayor contenido de humedad y nitrógeno al suelo (Root-Bernstein *et al.*, 2017) a las especies establecidas bajo esta especie, por lo que favorece su crecimiento y desarrollo. Dicho esto, se recomienda el aprovechamiento de individuos vivos de *V. caven* dentro del Santuario para crear clúster con especies que se vean favorecidas bajo este tratamiento.

En el tratamiento de clúster bajo legado las especies que presentaron mayor efectividad son *S. candolleana* y *V. caven* presentando una sobrevivencia superior al 50%. Por otro lado, al comparar los métodos utilizados las especies *L. caustica* y *C. odorífera* presentaron el mayor porcentaje de sobrevivencia bajo esta situación. Peña *et al.* (2018), señala que *L. caustica* y *C. odorífera* mejoran su sobrevivencia y crecimiento bajo algún grado de cobertura, en exposición sur, aplicando riego y bajo un buen trabajo del suelo.

En el tratamiento plantación lineal las especies que presentaron mayor sobrevivencia, altura y DAC son *S. candolleana* y *V. caven* alcanzando una sobrevivencia superior al 50%. Por otro lado, las especies *S. polygamus* y *Q. saponaria* presentaron sus valores más altos de sobrevivencia y altura bajo este tratamiento.

El tratamiento clúster en sitio abierto, por lo contrario, presentó los porcentajes más bajos de sobrevivencia y vitalidad, sin embargo, presentó los valores más altos de Altura y DAC. Esto se explica debido a que la luz es un factor de importancia para el crecimiento de las planta lo que se ve reflejado en la relación raíz/tallo, que es aumentada por altas intensidades de luz, lo que va a permitir la sobrevivencia de las plantas que estén adaptadas a esta condición (Donoso, 2008). Para efectos de este estudio cinco de las seis especies presentaron desde 0% hasta el 30% de sobrevivencia bajo este tratamiento. Por lo contrario, *S. candolleana* fue la única especie que se vio favorecida presentando los valores más altos de sobrevivencia, altura y DAC bajo este y los otros dos tratamientos utilizados concentrando a su vez más del 50% de sus individuos con vitalidad en Buen Estado (0-20% muerto), siendo la especie con mayor potencial para ser utilizada en la restauración del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata. Su efectividad bajo este y los otros dos tratamientos se debe a que es una especie muy resistente a la sequía, que se desarrolla tanto en terrenos planos como en laderas asoleadas (Bustos *et al.*, 2017). También es importante destacar que, al ser una especie leguminosa, va a mejorar la estructura y calidad del suelo (Bianco y Cenzano, 2018).

La segunda especie con mayor sobrevivencia es *V. caven* (espino), se caracteriza por ser una especie plástica, por lo que se adapta a variadas condiciones ambientales (Benedetti, 2012). Se encuentra adaptada a climas secos y a terrenos más o menos pobres, a periodos de sequía prolongados, con muy escasa precipitación (Donoso, 1974), así como también posee un extendido sistema radicular, que lo hace apto para proteger terrenos expuestos a erosión, permitiendo a su vez una buena captación de las precipitaciones, regulando el abastecimiento de agua de las cuencas hidrográficas (citado por Benedetti, 2012). Se espera que a partir de los resultados obtenidos se pueda establecer un diseño óptimo y sustentado, que permita el proceso de revegetación en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata.

3.4 Propuestas de mejoras a la gestión de las prácticas de Conservación de suelos y aguas para la rehabilitación ambiental en la empresa Biocys

3.4.1 Propuesta I: Formulario para el muestreo y descripción de suelos

Como en primera instancia se propone la creación de un formulario que contenga la información necesaria para el muestreo y descripción de suelos de los diferentes proyectos que involucre la conservación de suelos y aguas.

Los beneficios que se obtienen de un formulario son: facilitar el proceso de toma de datos en terreno de forma ordenada y unificada, dejar un registro, el cual se puede utilizar para posteriores investigaciones que se hagan en el lugar, lo que hace más eficiente y reduce costos de posteriores visitas a terreno. Finalmente, con la información registrada se pueden tomar mejores decisiones sobre las obras de conservación de suelos que se utilizarán.

Se sugiere hacer un formulario basado en documentos como la Guía de Campo Muestreo y Descripción Perfiles de Suelo, la cual es una publicación que permite de manera lógica y relativamente fácil, el poder describir correctamente los suelos de acuerdo con el sistema de clasificación de la Soil Taxonomy (USDA-NRCS). También esta guía de campo brinda la información necesaria para entender términos del suelo estandarizados y la recolección de muestras de suelos (Schoeneberger *et al.*, 2002).

Otra publicación relevante es la Guía Para la Descripción de Suelos de la FAO (2009), la cual nos brinda las variables necesarias para realizar una buena descripción del suelo. Este documento pone énfasis en que una buena descripción de suelos y el conocimiento derivado en cuando a la génesis de este, son herramientas útiles para guiar, ayudar en la explicación y regular el costoso trabajo de laboratorio. Asimismo, prevenir errores en el esquema de muestreo. A continuación, se presentan algunos aspectos relevantes de incluir en un formulario de descripción de perfiles de suelo:

1. Descripción general del sitio, registro y ubicación: nombre de la persona que describe, fecha, condiciones atmosféricas del clima y tiempo, localización, ubicación geográfica, altitud, exposición, pendiente, napa de agua, vegetación/cubierta superficial, erosión, escorrentía, pedregosidad superficial, drenaje, geoforma, topográfica, uso de la tierra y vegetación, material parental, observaciones generales.
2. Perfil/descripción del suelo: límites de los horizontes, textura, estructura del suelo, consistencia, color, raíces, porosidad, grietas, permeabilidad/conductividad hidráulica, observaciones generales.

Los aspectos para considerar van a depender de los objetivos de cada proyecto de conservación de suelos y aguas, por lo que se sugiere adaptar el formulario de acuerdo con las necesidades del proyecto, sin embargo, hay aspectos que deberían ser obligatorios para cada uno de ellos.

3.4.2 Propuesta II: Formularios digitales

Otra propuesta de mejora es implementar los formularios digitales, de esta manera se facilita el proceso de recolección de datos aumentando su productividad debido a la movilidad que brinda en terreno. Otro beneficio es la optimización del tiempo, dado que al pasar los datos en terreno no se debe llegar a traspasarlos, evitando a su vez cometer errores. Finalmente, es importante destacar que es más amigable con el medio ambiente debido a que ya no se requiere de papel, el cual a su vez tiene la desventaja de perderse, dañarse, mancharse en terreno y que la letra en ocasiones es ilegible, lo que se traduce en pérdida de recursos y de tiempo.

Para llevar a cabo esta propuesta es necesario tener en cuenta que varios lugares en donde se llevan a cabo los proyectos de conservación de suelos y aguas no cuentan con conexión a internet, es por esto por lo que se recomienda tener el formulario creado y descargado en el respectivo dispositivo móvil desde antes. Una alternativa es utilizar Microsoft Office y su programa de Excel, debido a que esta herramienta permite trabajar sobre ella sin conexión a internet, cuyos datos serán cargados y sincronizados correctamente una vez se encuentre en un lugar con acceso a internet. Otra alternativa es optar por trabajar en plataformas que permitan recolectar los datos sin conexión a internet, de la misma manera como si lo estuviera, una aplicación es DataScope.

Otro aspecto para considerar es que la batería de los aparatos móviles va disminuyendo a través del tiempo, es por esto por lo que la empresa tiene que disponer de cargadores portátiles los cuales deben ser considerados dentro de los instrumentos a llevar a terreno, lo que va a permitir trabajar sin problemas y de manera eficiente.

3.4.3 Propuesta III: Almacenamiento de bibliografía en nube

Se propone disponer de un servicio de almacenamiento en una nube, el cual va a ser útil para crear carpetas en donde se podrán incorporar documentos que sean de relevante para la empresa. Esto va a permitir que la información esté disponible para cualquier trabajador de la empresa desde cualquier lugar y a su vez que los archivos se guarden de forma segura y permanente.

Para tomar buenas decisiones es necesario estar revisando constantemente nuevas publicaciones, artículos y documentos científicos, con el objetivo de ir actualizando los conocimientos y a su vez para poder llevar a cabo de mejor forma la implementación de las prácticas de conservación de suelos y aguas, es por esto que se recomienda la creación de carpetas para el almacenamiento de bibliografía en donde se puedan incorporar artículos y documentos científicos, los cuales pueden ser clasificados según tema. Por otro lado, también se recomienda la creación de carpetas por proyecto, en donde se podrán incorporar formularios, informes, bases de datos, monitoreos y documentos relevantes de cada uno de ellos. La implementación de esta propuesta permitirá que la búsqueda de información sea más eficiente y sea compartida por igual para todo trabajador de la empresa.

3.4.4 Propuesta IV: Disponibilidad de instrumentos de medición

Un problema que se pudo observar en terreno es que solo se disponía de un sensor de humedad, el cual luego de varias mediciones este se rompió. Esta situación hizo que quedará un proyecto sin registro de más de la mitad de los datos de contenido de humedad del suelo. En base a lo sucedido, hubo pérdida tanto del material, información, costos y tiempo. Según la situación vivida se propone disponer de un stock de instrumentos y materiales. En primera instancia se propone llevar a cabo un inventario de instrumentos para obras de conservación de suelos y aguas, con el objetivo de verificar y tener un registro del material disponible y faltante. Es importante especificar en el inventario el estado en que se encuentran los instrumentos y en el lugar de almacenamiento o persona quien lo almacena. Con la disponibilidad de esta información se podrá llevar a cabo de manera eficiente la planificación y ejecución de las salidas a terreno. Por último, es importante destacar que es necesario disponer de al menos dos unidades de cada instrumento, lo que va a permitir que varias personas realicen el trabajo al mismo tiempo ahorrando tiempo en terreno y a su vez que exista un instrumento de repuesto en el caso de que ocurra el deterioro de uno de estos.

3.4.3 Propuesta V: Mantenimiento de las obras de conservación de suelos y agua

Sobre la base de los resultados obtenidos del ensayo de control de erosión se propone hacer una mantención de las obras de control de erosión al menos una vez al año con el objetivo de asegurarse de que estas no se colmaten y por ende pierdan su propósito. El Manual Para la Implementación de Obras de Conservación de Suelos y Cosechas de Aguas Lluvias en Alhué, es un documento que se recomienda utilizar debido a que describe y entrega información sobre la mantención de diversas obras.

Para llevar a cabo la mantención de las obras de conservación de suelos y aguas en primera instancia se propone visitar el lugar e identificar el estado actual de las obras, para que con esta información se realice una planificación en donde se detalle cada cuanto se harán mantenciones en el lugar y por cuanto tiempo, también las actividades que se realizarán, la mano de obra que se requiere y los costos involucrados.

3.4.5 Propuesta VI: Listado con posibles investigaciones derivadas de los proyectos de conservación de suelos y aguas ejecutadas por Biocys

La última propuesta se basa en tener un documento con un listado de propuestas acompañadas con sus respectivos objetivos de posibles investigaciones sobre proyectos de conservación de suelos y aguas de la empresa. La creación de este documento va a permitir de mejor forma poder gestionar prácticas profesionales del área y a su vez mantener de manera activa un área de investigaciones dentro de la empresa. La información generada por los practicantes posteriormente puede ser utilizada para la creación de artículos científicos o publicaciones, las cuales al mismo tiempo van a ser de utilidad para la ejecución de las obras de conservación de suelos y agua y mejorar el marketing de la empresa.

4 CONCLUSIONES

Mediante el estado del arte se verificó que las obras de conservación de suelos y agua es una técnica que se utiliza en Chile y en otras partes del mundo para lograr cosechar agua, nutrientes y suelo, permitiendo controlar la erosión, contrarrestar la desertificación y el deterioro de los ecosistemas. Las obras de conservación de suelos y aguas se clasifican según su objetivo: regular el flujo hídrico (encausar y disminuir velocidad), controlar los sedimentos, controlar la escorrentía superficial y estabilizar terrenos erodables. La elección de la obra va a depender de la ubicación, condiciones, características y objetivos que se desea lograr en el lugar a intervenir.

A partir de los resultados del ensayo de erosión se destaca en primer lugar que el suelo en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata ha presentado erosión durante las cinco mediciones efectuadas. En segundo lugar, mediante la erosión y sedimentación media neta tanto del control como de las obras de conservación de suelos y agua durante las mediciones se determinó que presentan un comportamiento dinámico, lo que se explica debido a que arriba de las parcelas está ocurriendo erosión, lo que hace que al pasar los años las obras de conservación de suelos y aguas se colmaten. Por lo que, se destaca la importancia de incluir dentro de las actividades de monitoreo la limpieza y mantención de las obras de conservación de suelos y aguas con el objetivo de asegurarse de que esta situación no pase y por ende pierdan su propósito. Por último, los bloques también presentaron un comportamiento dinámico entre mediciones y entre ellos, lo que se explica porque existen diferentes factores que afectan la erosión del suelo. Dicho esto, se recomienda desarrollar futuras investigaciones que incluyan estos factores con el objetivo de complementar este estudio. Por consiguiente, se podrá evaluar de manera íntegra qué métodos se adaptan de mejor manera en cada situación y ladera.

A partir de los resultados del ensayo de revegetación se propone en primer lugar descartar la revegetación mediante el método de siembra, debido a que presentó por segundo año consecutivo un 100% de mortalidad. En segundo lugar, se propone realizar una plantación utilizando todas las especies estudiadas mediante su tratamiento más efectivo. *Senna candolleana* es una especie que sin importar el tratamiento que se aplique presentó resultados exitosos de sobrevivencia, altura y DAC. *Vachellia caven* es la segunda especie con mayor sobrevivencia mediante los tratamientos de plantación lineal y clúster bajo legado. Lo sigue, *Schinus polygamus* presentando mayor sobrevivencia mediante el tratamiento de plantación lineal. *Lithraea caustica* mediante el tratamiento clúster bajo legado. *Quillaja saponaria* bajo el tratamiento plantación lineal. Por último, *Colliguaja odorífera* mediante el tratamiento de clúster bajo legado. En tercer lugar, se recomienda priorizar en la plantación las especies *Senna candolleana* y *Vachellia caven*, debido a que presentaron los mayores porcentajes de sobrevivencia, altura y DAC, lo que, sumado a esto, sus características de leguminosa y su adaptación positiva a las condiciones de sitio, logran tener un gran potencial para la restauración en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata. Finalmente, es importante destacar que cada especie posee requerimientos específicos que favorecen su desarrollo y crecimiento, por lo que se recomienda incluir estos factores al momento de realizar la

revegetación y de esta manera aumentar los porcentajes de sobrevivencia de cada especie.

Para finalizar, a través de las propuestas de mejora se pretende abarcar tres ámbitos. El primero es el aprovechamiento de los proyectos para generar nueva información de forma efectiva, y continua a través del tiempo, mediante la incorporación de practicantes para que lleven a cabo nuevas investigaciones. El segundo es mantener la información e instrumentos de forma ordenada y actualizada a través de carpetas y formularios, lo que permite que el trabajo sea más eficiente y a su vez que la transmisión de la información fluya por igual entre sus trabajadores. Por último, las propuestas se enfocan en incorporar nuevas actividades, para esto se propuso la creación de formularios de descripción de suelos y la mantención de las OCAS con el objetivo de tomar mejores decisiones respecto a la obra a elegir y poder cumplir con el propósito que nos entregan las obras a través del tiempo.

5 BIBLIOGRAFÍA

- BARÓN, J. y SÁNCHEZ, L. 2014. Estabilización de taludes por medio de muros de llantas en el barrio la Capilla-Soacha Cundinamarca. Universidad Católica de Colombia. 6p.
- BENEDETTI, S. 2012. Monografía de espino *Acacia caven* (MOL.) Mol. Instituto Forestal. 74p.
- BIANCO, L. y CENZANO, A. 2018. Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. Idesía. 36(4): 10.
- BIOCYS. 2018. Informe Final; Proyecto de Restauración Quebrada de la Plata, GEF. 38p.
- BUSTOS, M.; PASCUAL, C.; LEGASSA, M.; LEIVA, T. y SERRANO C. 2017. Guía de reconocimiento de árboles del Parque Metropolitano de Santiago. 68p.
- CABRIA, F.; CALANDRONI, M. y MONTERUBRIANESI, G. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. Ciencia del Suelo. 20(2): 12.
- CAMPILLAY, C. 2018. Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata: Repensando la Quebrada. Memoria Geógrafo. Santiago, Chile. 192p. [En Línea] <<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170460>> [Consulta: 10 de octubre 2021]
- CASTAÑEDA, N. s.f. Técnicas y estructuras de conservación de suelos y agua. Centro regional de la investigación INIA – Carillanca. 28p.
- CENTENO, M. 1993. Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en Nicaragua. p79.
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILENCIA ((CR)2). 2015. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. 28p.
- CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES DE CHILE (CMN). 2016. Quebrada de la Plata. [En Línea] <<https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/santuarios-de-la-naturaleza/quebrada-plata>> [Consulta: 01 de octubre de 2021].
- DALMASSO, A. 2010. Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. Bol. Soc. Argent. Bot. 45(1-2): 149-171.
- DECRETO N° 44. Declara santuario de la naturaleza quebrada de la plata, comuna de Maipú, región metropolitana. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 4p. [Publicada en Diario Oficial: 17 de mayo de 2017].
- DI CASTRI, 1975. Esbozo ecológico de Chile. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas. Lo Barnechea, Chile. 64p.

DÍAZ, C. 2011. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e investigación*. 31(3): 80-90.

DONOSO, C. 1974. *Dendrología: Árboles y Arbustos Chilenos*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 72p.

DONOSO, C. 1981. *Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile*. 70p.

DONOSO, C. 2008. *Ecología forestal el bosque y su medio ambiente*. 369p.

ELLIES, A.; GREZ, R. y RAMÍREZ, G. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. Valdivia, Chile. *Agro Sur* 25(1): 51-56.

EMANUELLI, P.; MILLA, F.; DUARTE, E.; TORREALBA, J.; GARRIDO, C.; ORELLANA, O.; LÓPEZ, S. y COLMEARES, M. 2016. Diagnóstico de la desertificación en Chile y sus efectos en el desarrollo sustentable. 33p. [En Línea] <https://www.researchgate.net/publication/312139716_Diagnostico_de_la_desertificacion_en_Chile_y_sus_efectos_en_el_desarrollo_sustentable/link/5871acaf08ae6eb871c09734/download [Consulta: 15 De junio De 2021].

FERNANDEZ, I.; MORALES, N.; OLIVARES, L.; SALVATIERRA, J.; GÓMEZ, M. y MONTENEGRO, G. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. 149p.

FLORES, J.; ESPINOSA, M.; MARTÍNEZ, E.; HENRÍQUEZ, G.; AVENDAÑO, P., TORRES, P., y AHUMADA, I. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 292p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION (FAO). 2000. *Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos*. (Bol. N°8). 234p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION (FAO). 2009. *Guía para la descripción de suelos*. 111p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION (FAO). 2011. *Prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación productiva a la variabilidad climática. Secano de la región de O'Higgins*. Santiago, Chile. 33p.

FRANCKE, S.; VARGAS, R.; TORUGAWA, K. y MAKITA, M. 2004. *Proyecto Cuencas CONAF-JICA: Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas Degradadas de la Zona Semiárida de Chile*. Santiago, Chile. 75p.

INSTITUTO FORESTAL DE CHILE (INFOR). 2011. Compendio de prácticas convencionales del uso sostenible del recurso agua y suelo en zonas áridas y semiáridas, con énfasis en la III y IV región de Chile. 34p.

LABRA, F.; GONZÁLEZ, M.; GACITÚA, S.; MONTENEGRO, J.; VILLALOBOS, E. y GÓMEZ, A. 2018. Manual N°49 para la implementación de obras de conservación de suelos y cosecha de aguas lluvia en Alhué. Instituto Forestal (INFOR). Chile. 101p.

LEMUS, M.; VERBIST, K.; NAVARRO, G. y GABRIELS, D. 2010. Water augmentation techniques for plantations on sloped drylands: an experimental evaluation. Proceedings of the international conference “Arid and semi-arid development through water augmentation”. Documento técnico N°31. pp.16-24.

LEMUS, M. 2020. Biocys: Estamos en la final del premio nacional del medio ambiente RECYCLÁPOLIS 2020. Biocys. [En Línea] <<https://www.biocys.cl/biocys-estamos-en-la-final-del-premio-nacional-del-medio-ambiente-recyclapolis-2020/>> [Consulta: 15 De junio De 2021].

LINARES, E. 2005. Instructivo para determinar la supervivencia en plantaciones forestales. 94p.

LÓPEZ, F. y ROMERO, A. 1998. Erosión y desertificación: implicaciones ambientales y estrategias de investigación. Papeles de geografía. (28): 77-89.

LUCAS, A. 2018. Más de una década de cambio climático en Chile: análisis de las políticas domésticas. Boletín mexicano de derecho comparado. (51): 153p.

LUEBERT, F. y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 160p.

MADRIR, R.; RODRÍGUEZ, A.; CONTRERAS, V.; GIRÁLDEZ, J.; LANDA, B.; TAGUAS, E.; VIEDMA, A.; VANWALLEGHEM, T. y GÓMEZ, J. 2014. Manual de técnicas de estabilización biotécnica de taludes de infraestructuras de obra civil. Proyecto de I+D+i. Instituto de Agricultura Sostenible. Universidad de Córdoba. 57p.

MARTÍNEZ, A., y LEMUS, M. 2005. Oasificación: solución forestal para la desertificación. Revista Chile Forestal. (319): 26-29.

MINISTERIO DEL INTERIOR y SEGURIDAD PÚBLICA, 2015. Política nacional para los recursos hídricos. 104p.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA (MMAyA). s.f. Cartilla 4: Prácticas biofísicas de conservación de suelos y aguas. 24p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). 2016. Autoridades dan a conocer daño ecológico por incendio en santuario de la naturaleza quebrada de la plata. Santiago, Chile. Ministerio Del Medio Ambiente. [En Línea] <<https://mma.gob.cl/autoridades-dan-a-conocer-dano-ecologico-por-incendio-en-santuario-de-la-naturaleza-quebrada-de-la->

Plata/> [Consulta: 01 de abril de 2021].

MORGAN, R. 2005. Soil erosion and conservation. 316p.

NAVARRO, G.; LEMUS, M.; VÁSQUEZ, R. y BRAVO, R. 2001. Recuperación hidrológica y forestal de la cuenca poniente del poblado de sierras de bellavista. Corporación Nacional Forestal (CONAF). 43p.

ORELLANA, M. y STEWART, A. 2014. Antecedentes que obran en la causa rol n° d-0-120-2014 que instruye la superintendencia del medio ambiente en la división de sanción y cumplimiento, características ecosistémicas de la qdp. Facultad De Ciencias Agronómicas, Universidad De Chile.

PAZ, 2020. Monitoreo de ensayos de revegetación del proyecto GEF corredores biológicos de montaña. Informe de práctica profesional 2020. 23p.

PEÑA, K.; DONOSO, S.; DURÁN, S.; PACHECO, C.; GALDAMES, E. y ESPINOZA, C. 2018. Evaluación de actividades de restauración de la cubierta arbórea con presencia de *Nothofagus macrocarpa* y *Nothofagus glauca* por medio de regeneración natural y plantación. Informe final proyecto CONAF bosque nativo. 53p.

PÉREZ H. 2001. Evaluación de productividad de *Pinus radiata* (D. Don) asociado a zanjas de infiltración. Tesis Licenciatura en Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 72p.

PIZARRO, T.; FLORES, J., SANGUESA, C.; MARTÍNEZ, E. y ROMÁN, L. 2004. Monografía: Canales de desviación de aguas lluvias. Proyecto FDI-CORFO. 36p. [En Línea] <[https://es.slideshare.net/Juanktigers/canales-de-desviacion.](https://es.slideshare.net/Juanktigers/canales-de-desviacion)> [Consulta: 23 de septiembre de 2021].

PIZARRO, R.; FLORES, J.; SANGUESA, C.; MARTÍNEZ, A. y LEÓN L. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. Bosque. 29(2): 136-145.

PIZARRO, R.; MORALES, C.; VEGA, L.; VALDÉS, R.; OLIVARES, C. y BALOCCHI, F. 2010. Evaluación de la erosión hídrica superficial en zonas áridas y semiáridas de Chile central. Aqua-LAC. 2(2): 1-11.

POBLETE, L. 2004. Efecto de la exposición y de la pendiente en algunas propiedades del suelo, flora y vegetación de la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. 99p.

PROAÑO, D.; GISBERT, V. y PÉREZ, E. 2017. Metodología para elaborar un plan de mejora continua. 3C Empresa: investigación y pensamiento crítico. pp.50-56.

ROBINS, P. y BURGOA, B. 2016. Guía prácticas para el Manejo de Erosión y Escorrentía Agrícola en Laderas. 52p.

RODRÍGUEZ, O. 2018. Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 460p. [En Línea] <<http://saber.ucv.ve/omp/index.php/editorialucv/catalog/view/11/7/44-1>> [Consulta: 10 de abril de 2021].

ROMERO, J. y RIVERA, A. 2020. La hidrosiembra, técnica de bioingeniería para la restauración de suelos producto de actividades mineras: experiencia en el proyecto minero mirador, Zamora Chinchipe - Ecuador. REV. MAMYM. 5:1. [En Línea] <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100002&lng=pt&nrm=iss> [Consulta: 23 de septiembre de 2021].

ROOT-BERNSTEIN, M.; VALENZUELA, R.; HUERTA, M.; ARMESTO, J. y JAKSIC, F. 2018. *Acacia caven* nurses endemic sclerophyllous trees along successional pathway from silvopastoral savanna to forest. Ecosphere. 8(2): 23.

RUIZ, C. 2005. Manual de especificaciones técnicas de buenas prácticas de manejo de suelos en laderas. Serie técnica n°20. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Santiago, Chile. 56p.

SCHLEGEL, F. 1963. Estudio florístico y fitosociológico de la Quebrada de la Plata, Hacienda Rinconada de Lo Cerda, Maipú. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 221p.

SCHLEGEL, F. 1966. Pflanzensoziologische Und Floristische Untersuchungen Über Hartlaubgehö In La Plata-Tal Bei Santiago De Chile. Berichte Oberhessische Gesellschaft Für Natur- Und Heilkunde Zu Giessen, Neue Folge, Nat Abt 34. 183-204.

SCHOENEBERGER, P.; WYSACKI, D.; BENHAM, E. Y BRODERSON, W. 2002. Field book for describing and sampling soils, versión 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. 254p.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL (SER). 2004. The SER international primer on ecological restoration. Society for ecological restoration international. 15p.

TÁLAMO, A.; ARÉVALO, E.; MARTÍNEZ, F.; GARIBALDI, L.; HARMANN, S.; DÍAZ, M., y CROCE, J. 2017. Control del arrastre de sedimentos post-incendio: efectividad de fajinas en un bosque seco montañoso (Salta, Argentina). Ecología Austral. 27: 15-420.

VEGA, L. 2008. Evaluación de erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo. Memoria Ingeniero Forestal. Talca, Chile: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 138p.

ANEXOS

I. Formulario para el monitoreo de ensayo de control de erosión

A continuación, se presenta un extracto del formulario utilizado para el monitoreo de ensayo de control de erosión.

Bloque	Ubicación (A: arriba; B: abajo)	Tratamiento	Clavo	Altura inicial	Altura (mm) medición 2021
1	A	Sacos	C1	50,8	
1	A	Sacos	C2	50,8	
1	A	Sacos	C3	50,8	
1	A	Sacos	C4	50,8	
1	A	Sacos	C5	50,8	
1	A	Sacos	C6	50,8	
1	A	Sacos	C7	101,6	
1	A	Sacos	C8	50,8	
1	A	Sacos	C9	50,8	
1	A	Sacos	L1	101,6	
1	A	Sacos	L2	101,6	
1	A	Sacos	L3	101,6	
1	A	Fajinas	C1	50,8	
1	A	Fajinas	C2	50,8	
1	A	Fajinas	C3	50,8	
1	A	Fajinas	C4	50,8	
1	A	Fajinas	C5	50,8	
1	A	Fajinas	C6	50,8	
1	A	Fajinas	C7	50,8	
1	A	Fajinas	C8	50,8	
1	A	Fajinas	C9	50,8	
1	A	Fajinas	L1	101,6	
1	A	Fajinas	L2	101,6	
1	A	Fajinas	L3	101,6	
1	A	Ramas	C1	50,8	
1	A	Ramas	C2	50,8	
1	A	Ramas	C3	50,8	
1	A	Ramas	C4	50,8	
1	A	Ramas	C5	50,8	
1	A	Ramas	C6	50,8	
1	A	Ramas	C7	50,8	
1	A	Ramas	C8	50,8	
1	A	Ramas	C9	50,8	
1	A	Ramas	L1	101,6	
1	A	Ramas	L2	101,6	
1	A	Ramas	L3	101,6	
1	A	Malla	C1	50,8	
1	A	Malla	C2	50,8	
1	A	Malla	C3	50,8	

1	A	Malla	C4	50,8	
1	A	Malla	C5	50,8	
1	A	Malla	C6	50,8	
1	A	Malla	C7	50,8	
1	A	Malla	C8	50,8	
1	A	Malla	C9	50,8	
1	A	Malla	L1	101,6	
1	A	Malla	L2	101,6	
1	A	Malla	L3	101,6	
1	A	Control	C1	50,8	
1	A	Control	C2	50,8	
1	A	Control	C3	50,8	
1	A	Control	C4	50,8	
1	A	Control	C5	50,8	
1	A	Control	C6	50,8	
1	A	Control	C7	50,8	
1	A	Control	C8	50,8	
1	A	Control	C9	50,8	
1	A	Control	L1	50,8	
1	A	Control	L2	50,8	
1	A	Control	L3	50,8	
1	B	Sacos	C1	50,8	
1	B	Sacos	C2	50,8	
1	B	Sacos	C3	50,8	
1	B	Sacos	C4	50,8	
1	B	Sacos	C5	50,8	
1	B	Sacos	C6	50,8	
1	B	Sacos	C7	50,8	
1	B	Sacos	C8	50,8	
1	B	Sacos	C9	50,8	
1	B	Sacos	L1	101,6	
1	B	Sacos	L2	101,6	
1	B	Sacos	L3	101,6	
1	B	Fajinas	C1	50,8	
1	B	Fajinas	C2	50,8	
1	B	Fajinas	C3	50,8	
1	B	Fajinas	C4	50,8	
1	B	Fajinas	C5	50,8	
1	B	Fajinas	C6	50,8	
1	B	Fajinas	C7	50,8	
1	B	Fajinas	C8	50,8	
1	B	Fajinas	C9	50,8	
1	B	Fajinas	L1	101,6	
1	B	Fajinas	L2	101,6	
1	B	Fajinas	L3	101,6	
1	B	Ramas	C1	50,8	
1	B	Ramas	C2	50,8	
1	B	Ramas	C3	50,8	
1	B	Ramas	C4	50,8	
1	B	Ramas	C5	50,8	
1	B	Ramas	C6	50,8	
1	B	Ramas	C7	50,8	

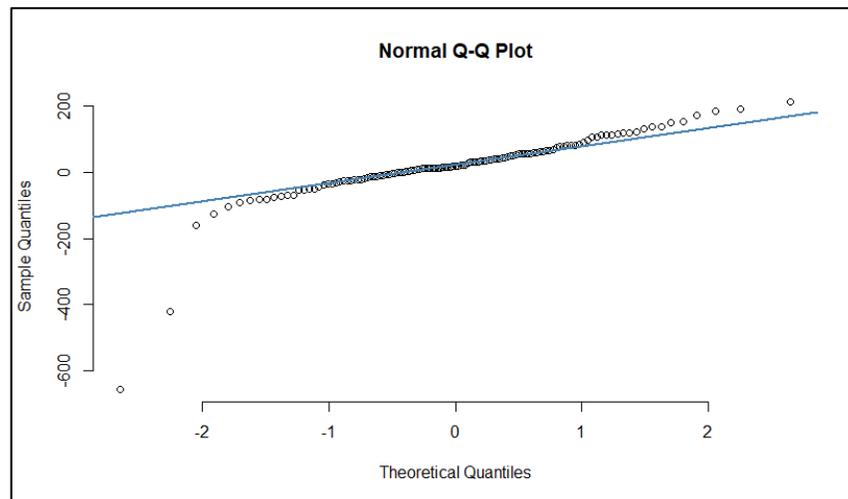
Formulario de plantación

MEDICIÓN PLANTACIÓN							
Fecha		Observaciones generales					
Registrantes		Vitalidad= 1: buen estado (0-20% muerto), 2: malogrado (20-80% muerto), 3: casi muerto (80-99%) , 4: muerto (100% muerto)					
N° Bloque							
N° Parcela							
Tratamiento							
N° Planta	Especie	DAC	Altura (cm)	Vitalidad	Razón de muerte (ramoneo, sequía, otro detallar)	Exposición	Observaciones (Ápice muerto, nuevo ápice, bifurcado, otras observaciones generales). En clúster bajo espino anotar exposición donde se encuentra la planta
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							

APÉNDICE

I. Análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre mediciones, tratamientos y bloques de las mediciones históricas efectuadas

La prueba de normalidad de Kolmogorov-smirnov dio como resultado un p-valor de 0,0000003909 siendo menor que 0,05, lo que resulta que los datos no tienen una distribución normal, por tanto, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos. En la siguiente figura se puede observar que los datos de los extremos no siguen la línea de tendencia.



Mediciones

Según la prueba de Kruskal-Wallis entre mediciones no existen diferencias significativas dado que se acepta la hipótesis nula donde el p-valor es 0,9242, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varían entre las mediciones históricas efectuadas.

Bloques

Según la prueba de Kruskal-Wallis entre bloques existen diferencias significativas dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es $<0,0001$, es decir menor que 0,05, lo que indica que las medias son diferentes, por ende, la erosión y sedimentación media neta varía entre los bloques de las mediciones históricas efectuadas.

Los resultados de la comparación de pares se representan en el siguiente cuadro. En donde, la letra A representa el bloque menos efectivo, es decir, con mayor cantidad de erosión y la letra D representa el bloque más efectivo, es decir, con menor cantidad de erosión.

Bloques	N	D.E	Medianas	Medias	Proceso	Ranking
Bloque 4	25	158,21	73,59	42,49	Erosión	A
Bloque 2	25	50,53	30,27	49,39	Erosión	AB
Bloque 5	25	76,12	-1,14	28,22	Erosión	BC
Bloque 1	25	43,34	3,3	10,85	Erosión	C
Bloque 3	25	94,55	-24,98	-43,98	Sedimentación	D

Tratamientos

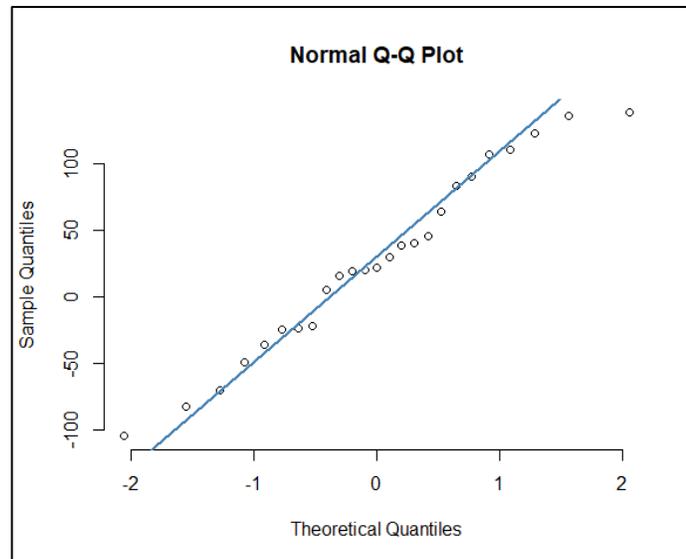
Según la prueba de Kruskal-Wallis entre mediciones no existen diferencias significativas dado que se acepta la hipótesis nula donde el p-valor es 0,4065, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varían entre los tratamientos de las mediciones históricas efectuadas.

II. Análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre bloques y tratamientos en la quinta medición

En el siguiente cuadro se observan los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk y homocedasticidad Bartlett para las variables erosión y sedimentación media neta con tratamientos y bloques de los datos obtenidos de cada una de las mediciones.

Medición	Test de Shapiro-Wilk	Test de Bartlett (erosión-tratamientos)	Test de Bartlett (erosión-bloques)
1° Medición (2018)	0,691	0,0466	0,4418
2° Medición (2018)	0,0881	0,3935	0,4221
3° Medición (2019)	0,000009171	-	-
4° Medición (2020)	0,8166	0,1116	0,07759
5° Medición (2021)	0,6673	0,2053	0,7127

En la quinta medición (2021) la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett para ambas variables arrojó como resultado un p-valor mayor a 0,05, por lo que, se cumplen los supuestos establecidos para determinar que los datos si se distribuyen normal, por tanto, se realiza prueba de ANOVA para datos paramétricos. En la siguiente figura se puede observar que los datos siguen la línea de tendencia.



Bloques

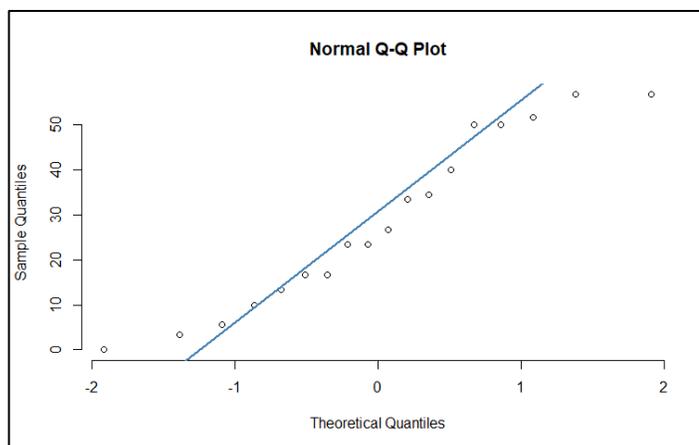
Según la prueba de ANOVA entre bloques no existen diferencias significativas dado que se acepta la hipótesis nula donde el p-valor es 0,1345, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varía entre los bloques en la quinta medición.

Tratamientos

Según la prueba de ANOVA entre bloques no existen diferencias significativas dado que se acepta la hipótesis nula donde el p-valor es 0,3724, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la erosión y sedimentación media neta no varía entre los tratamientos en la quinta medición.

III. Análisis estadístico de sobrevivencia por tratamientos y especies en la quinta medición

En primera instancia se realiza la prueba de Shapiro resultando un p-valor de 0,2195, al ser mayor a 0,05 se considera que los valores se distribuyen de manera normal. Al observar en la representación gráfica los valores siguen la línea de tendencia.



Posteriormente, se comprobó la homogeneidad y homocedasticidad de varianzas a través de la prueba de Barlett para las variables sobrevivencia con tratamientos y especies. Se obtuvo un p-valor de 0,9074 y 0,512 respectivamente. En ambos casos se cumple con que los datos son homogéneos y homocedásticos es por esto por lo que se aplica la prueba de ANOVA para datos paramétricos.

Prueba ANOVA

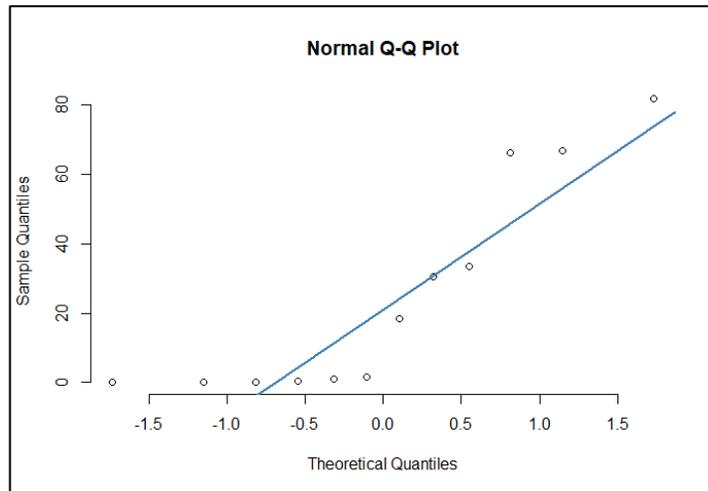
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5496,30	7	785,19	12,63	0,0003
Tratamiento	969,15	2	484,57	7,80	0,0091
Especies	4527,16	5	905,43	14,57	0,0003
Tratamiento*especies	621,57	10	62,16	sd	sd
Error	621,57	10	62,16		
Total	6117,87	17			

Según la prueba de ANOVA existen diferencias significativas en cada variable dado que su p-valor es menor a 0,05, lo que indica las medias son diferentes, por ende, la sobrevivencia varía entre tratamientos y por especies.

En la interacción entre tratamiento por especies se llevó a cabo la prueba de Kruskal-Wallis, la cual indica que no existen diferencias significativas dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es 0,4544, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la sobrevivencia no varía entre la interacción entre tratamientos por especies.

IV. Análisis estadístico de vitalidad por tratamientos en la quinta medición

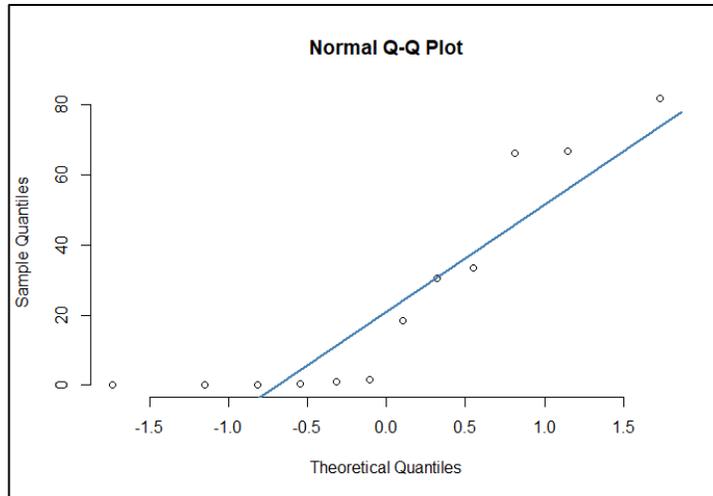
En primera instancia se realiza la prueba de Shapiro resultando un p-valor de 0,00831, al ser menor a 0,05 se considera que los valores no se distribuyen de manera normal. Esto se puede observar en la representación gráfica donde la mayoría de los datos siguen la línea. Dicho esto, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.



Según la prueba de Kruskal-Wallis no existen diferencias significativas dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es 0,4433, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la vitalidad no varía entre tratamientos.

V. Análisis estadístico de vitalidad por especies en la quinta medición

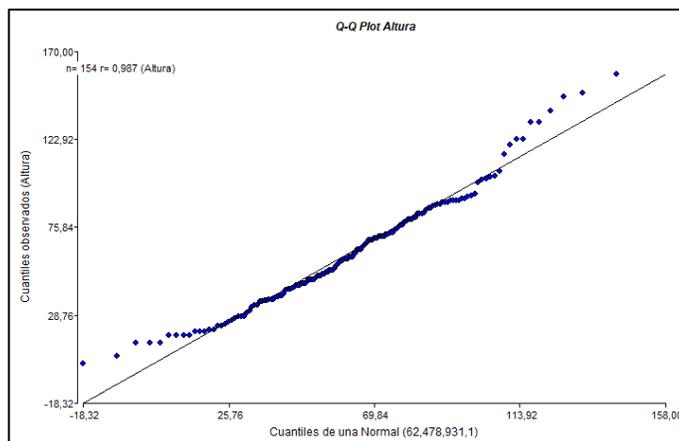
En primera instancia se realiza la prueba de Shapiro resultando un p-valor de 4,03e-09, al ser menor a 0,05 se considera que los valores no se distribuyen de manera normal. Esto se puede observar en la representación gráfica donde la mayoría de los datos siguen la línea. Dicho esto, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.



Según la prueba de Kruskal-Wallis no existen diferencias significativas dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es 0,4608, es decir mayor que 0,05, lo que indica que las medias son iguales, por ende, la vitalidad de las plantas varía entre especies.

VI. Análisis estadístico de altura promedio por tratamientos y especies en la quinta medición

El análisis estadístico de la altura señala que la muestra se distribuye de forma normal, teniendo un valor p-valor de 0,2551, sin embargo, al observar la representación gráfica hay valores que no siguen la línea de tendencia. Se comprueba la homogeneidad y homocedasticidad de varianzas a través de la prueba de Barlett la cual arroja un p-valor de 0,003112 considerando las variables altura y tratamiento, en el caso de las variables altura y especies la prueba nos arroja un p-valor de 0,004162, lo que nos indica que en ambos casos la altura no cumple con el supuesto de homogeneidad y homocedasticidad. Al no cumplirse el supuesto de normalidad, homogeneidad y homocedasticidad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.



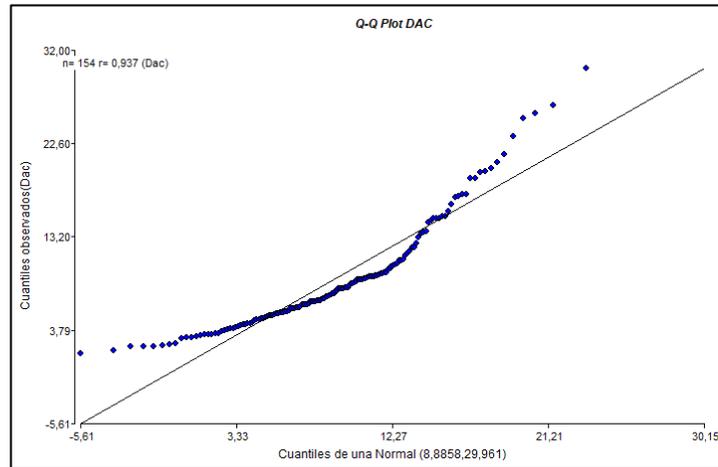
Según la prueba de Kruskal-Wallis existen diferencias significativas entre tratamientos dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es 0,0082, es decir, menor a 0,05 lo que indica que las medias son diferentes, por ende, los tratamientos influyen en la altura de las plantas.

Por otro lado, según la prueba de Kruskal-Wallis existen diferencias significativas entre especies dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es <0.0001, es decir, menor a 0,05 lo que indica que las medias son diferentes, por ende, la altura varía entre las especies.

Finalmente, el tercer análisis indica que existen diferencias significativas en la interacción de la altura promedio entre especies y tratamientos dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es <0.000,1 lo que indica que las medias son diferentes, por ende, la altura varía entre las especies.

VII. Análisis estadístico de DAC promedio por tratamientos y especies en la quinta medición

El análisis estadístico del DAC señala que la muestra no se distribuye de forma normal, teniendo un valor p-valor de 1.388e-10, esto se puede observar en la representación gráfica donde los valores no siguen la línea de tendencia. Se comprueba la homogeneidad y homocedasticidad de varianzas a través de la prueba de Barlett la cual arroja un p-valor de 2.511e-10 considerando las variables DAC y tratamiento, en el caso de las variables DAC y especies la prueba nos arroja un p-valor de 7.968e-09, lo que nos indica que en ambos casos el DAC no cumple con el supuesto de homogeneidad y homocedasticidad. Al no cumplirse el supuesto de normalidad, homogeneidad y homocedasticidad se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.



Según la prueba de Kruskal-Wallis existen diferencias significativas entre métodos dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es 0,0001, es decir, menor a 0,05 lo que indica que las medias son diferentes, por ende, los tratamientos influyen en el DAC de las plantas.

Por otro lado, según la prueba de Kruskal-Wallis existen diferencias significativas entre especies dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es <0.0001, es decir, menor a 0,05 lo que indica que las medias son diferentes, por ende, el DAC varía entre las especies.

Finalmente, el tercer análisis indica que existen diferencias significativas en la comparación del DAC promedio entre especies y tratamientos dado que se rechaza la hipótesis nula donde el p-valor es <0.0001, lo que indica que las medias son diferentes, por ende, el DAC varía entre las especies y tratamientos.