



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 ACCIONES DE PROPAGACIÓN Y
REVEGETACIÓN DE *Kageneckia angustifolia* D. Don, PARA EL
CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS AMBIENTALES DEL
PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

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

VALERIA ANDREA PINTO PAREDES

Profesor Guía: Sr. Eduardo Martínez Herrera

Prof. Colaborador Sr. Iván Grez Mejías

Santiago, Chile

2019

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 ACCIONES DE PROPAGACIÓN Y
REVEGETACIÓN DE *Kageneckia angustifolia* D. Don, PARA EL
CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS AMBIENTALES DEL
PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

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

VALERIA ANDREA PINTO PAREDES

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Eduardo Martínez Herrera	7.0
Prof. Consejero Sr. Carlos Magni Díaz	6.5
Prof. Consejero Sr. Juan Ovalle Ortega	6.8
Prof. Colaborador Sr. Iván Grez Mejías		

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida, a mis padres Carlos y Yolanda, por hacerme lo que soy y darme siempre su apoyo en cada proyecto que me propongo. A mi hermana Laurita, que solo por el hecho de estar alegre mis días.

A mis Profesores Guía y Colaborador, Eduardo Martínez e Iván Grez, quienes han sido un gran apoyo no solo en esta instancia, si no que a lo largo de la carrera. A mis Profesores Consejeros Carlos Magni y Juan Ovalle, por sus comentarios y disposición durante el proceso.

Al equipo CESAF, que comprende a los profesores, Betsabé, Suraj, Nicole Toro, Nicole Rojas, María Julia, José y Sandra, por su ayuda en cada uno de los procesos de esta práctica, por su colaboración, por su simpatía y alegría.

A Daniel por su apoyo en todos los aspectos de la vida, tanto emocional como estudiantil, por siempre creer en mí y en mis capacidades, sin el cual probablemente me hubiese costado mucho terminar la carrera.

Al grupo “Pizza”, Antonia, Chiara, Macarena, Camila, Victoria, Fabian, Tomás y Raúl, por ser los mejores compañeros de trabajo y los más cartoneros, con quienes viví muchas aventuras que siempre quedarán en mi memoria.

A la Facultad por permitirme conocer tantos lugares hermosos de Chile y también entregarme los conocimientos necesarios para poder cuidarlos.

Finalmente quiero agradecer a la empresa PHAM por facilitarme la información y permitirme integrarla a este documento, la cual será de utilidad para futuras investigaciones.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 MATERIAL Y MÉTODO	4
3.1 Material.....	4
3.1.1 Caracterización del lugar	4
3.2 Métodos	5
3.2.1 Análisis de la ejecución de acciones en cumplimiento de medidas ambientales para la especie de interés.	5
3.2.2 Identificación de variables que pueden influir en la sobrevivencia de <i>K. angustifolia</i> , en la zona de estudio.	5
3.2.2.1 Variables edáficas.....	5
3.2.2.2 Variables climatológicas.....	6
a) Balance hídrico.....	7
b) Análisis de tendencia SWE.....	7
c) Análisis de serie de tiempo de NDSI (Normalized Difference Snow Index)	8
3.2.3 Propuestas de acciones que tiendan a mejorar las técnicas de viverización y plantación de la especie de interés.	9
3.2.4 Actividades requeridas por la empresa	9
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4.1 Prendimientos	10
4.1.1 Revisión de informes de colecta y análisis de semillas de especies altoandinas de interés	10
4.1.1.1 Seguimiento fenológico	11
4.1.1.2 Colecta y limpieza de semillas	12
4.1.1.3 Análisis de semillas	20
4.2 Observaciones de terreno.....	26

4.3 Análisis de variables ambientales	29
4.3.1 Análisis de suelo.....	29
4.3.1.1 Descripción morfológica.....	29
4.3.1.2 Análisis químico	29
4.3.1.3 Análisis físico	30
4.3.1.4 Observaciones generales encontradas en terreno.	31
4.3.2 Análisis Hidroclimático	32
4.3.2.1 Balance hídrico.....	32
4.4 Propuesta de acciones que tiendan a mejorar las técnicas de viverización y plantación de la especie de interés	36
5 CONCLUSIÓN.....	37
6 BIBLIOGRAFÍA	38
7 ANEXOS.....	41
8 APÉNDICES	44

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Mapa general del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. Fuente: PLATAFORMA URBANA (2019).....	1
Figura 2. Rodalización de revegetación de <i>K. angustifolia</i> (R), en el sector de El Durazno, Comuna de San José de Maipo.....	4
Figura 3. Rodales R2 y R3 ubicados en el sector El Durazno y en el círculo rojo ubicación de Bosquete de frangel muestreado.	6
Figura 4. Firma espectral nieve (Hernández, 2011)	8
Figura 5. Mapa de procedencias para la colecta de semillas, Cajones de Río El Colorado, El Yeso, Las Lajas y El Volcán, Comuna de San José de Maipo. Fuente: Servicios Integrales San José (2016).....	12
Figura 6. Mallas colectoras de colecta en <i>Kageneckia angustifolia</i> , sector Colorado. Fuente: +MG (2014).....	13
Figura 7. Perforaciones por insectos y ataque de hongos en frutos de frangel, 05 de febrero de 2014 (El Colorado). Fuente: +MG (2014).....	13
Figura 8. En la primera imagen a la izquierda frutos de frangel atacados por larvas, segunda a la derecha ejemplar de frangel infectado por quintral. Fuente: +MG (2014).....	14
Figura 9. Limpieza de semillas de <i>K. angustifolia</i> . Fuente: +MG (2014).	15

Figura 10. Insecto encontrado durante la limpieza de semillas de <i>K. angustifolia</i> . Daño provocado por insectos a semillas de <i>K. angustifolia</i> . Fuente: + MG (2014).	15
Figura 11. Cercado de individuos de cosecha de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Ribes cucullatum</i> . Fuente: Servicios Integrales San José (2016).	20
Figura 12. Promedio de porcentaje de germinación de las especies trabajadas por la empresa. Fuente: Servicios Integrales San José (2016).	24
Figura 13. Germinación acumulada de semillas de <i>Kageneckia angustifolia</i> remojadas por 1 y 4 días en agua Fuente: Gutiérrez <i>et al.</i> , (2013).	25
Figura 14. Rodales R2 y R4 arriba, abajo a la izquierda registro de erosión por lagomorfos, abajo a la derecha bosque natural adyacente de frangel en rodal R1.	26
Figura 15. Registro fotográfico de la mortalidad de <i>K. angustifolia</i> en el rodal R1.	27
Figura 16. Ejemplares de <i>K. angustifolia</i> y <i>G. trinervis</i> plantados en núcleo en rodal R1.	27
Figura 17. Riego tecnificado implementado registrado en rodal R1.	28
Figura 18. Niveles de nutrientes adecuados requeridos por los tejidos de plantas (Kyrkby y Römheld, 2007)	30
Figura 19. Presencia de Micorrizas y regeneración natural en Bosquete de <i>K. angustifolia</i> . Fuente: Martínez y Pinto (2018).	32
Figura 20. Serie temporal de balance hídrico mensual simplificado desde el año 1986 al 2016.	33
Figura 21. Serie temporal SWE desde el año 1986 al 2016.	33
Figura 22. Ajuste lineal simple de fechas de inicio de temporada nival desde el año 2000 al 2018.	34
Figura 23. Ajuste lineal simple de fechas de término de la temporada nival desde el año 2000 al 2018.	35
Figura 24. Ajuste lineal simple de la duración de la temporada nival desde el año 2000 al 2018.	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cálculos de los prendimientos durante el año 2018.	10
Cuadro 2. Fechas registradas de fase o estado fenológico en <i>Kageneckia angustifolia</i> .	11
Cuadro 3. Requerimientos y pesos de semillas colectadas de especies de difícil colecta junto con las razones por las que no se logró la colecta deseada.	14
Cuadro 4. Requerimientos en número de plantas estimados en la temporada 2015 de algunas especies para los distintos planes de compensación de la empresa PHAM.	16

Cuadro 5. Requerimientos y pesos de semillas colectadas según especie para la temporada 2015.....	17
Cuadro 6. Requerimientos estimados en la temporada 2016 de especies de interés para los distintos planes de compensación de la empresa PHAM.....	18
Cuadro 7. Requerimientos y pesos de semillas colectadas según especie para la temporada 2016.....	19
Cuadro 8. Determinación de Pureza, número de semillas por kilo (NSK), porcentaje de viabilidad y contenido de humedad (CH), en algunas especies estudiadas, para la temporada 2015.....	22
Cuadro 9. Determinación de Pureza, número de semillas por kilo (NSK) y porcentaje de viabilidad en algunas especies estudiadas, para la temporada 2015-2016.....	23
Cuadro 10. Determinación del porcentaje de germinación, valor máximo, energía germinativa, periodo de energía en días y días totales del ensayo.	24
Cuadro 11. Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez permanente (PMP) y Humedad aprovechable (HA), en los primeros horizontes de cada pedón.	31

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM), corresponde a una de las grandes obras emplazadas en la Región Metropolitana, constituida por dos series hidráulicas que pretenden generar energía equivalente en 531MW, los cuales serán dirigidos directamente al Sistema Interconectado Central (SIC).

Para la ejecución del proyecto fue necesario intervenir territorios cordilleranos, además de vegetación en categoría de conservación, por lo que la empresa se sometió a el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), comprometiéndose a realizar acciones de compensación. Entre estos compromisos, está la plantación de 10 ejemplares por cada individuo afectado de la especie *Kageneckia angustifolia*. En la actualidad se ha logrado un significativo conocimiento de la especie y sus técnicas de plantación, no obstante, los esfuerzos no han sido suficientes para asegurar lo exigido por la institución fiscalizadora (CONAF).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las acciones de propagación y revegetación en el marco de los compromisos ambientales adquiridos por la empresa, en el sector de El Durazno, comuna de San José de Maipo. Para ello se realizó un análisis de la ejecución de acciones por parte de la empresa, se identificaron algunas variables que pudiesen afectar la sobrevivencia de la especie y finalmente una propuesta de acciones que se pudiesen llevar a cabo para mejorar los prendimientos tanto en vivero como en plantación.

Dentro del análisis realizado a las acciones, se corroboran los bajos prendimientos en relación con lo esperado para especies exóticas madereras, siendo los ejemplares plantados más antiguos los que presentan prendimientos más bajos.

Se observa un mal estado fitosanitario en los ejemplares madre, proveedores de semillas, lo que se ha traducido en una reducción de la producción de semillas en ciertas épocas, por lo que se propuso, el monitoreo permanente de estos ejemplares.

El suelo de los sitios de plantación se encuentra en buenas condiciones para el establecimiento de vegetación, por otro lado, se produjo el hallazgo de hifas de hongos en un bosque adulto de frangel adyacente al área de estudio, por lo que se propuso estudiar esta variable. Se estudiaron variables hidroclimáticas, en donde fue posible encontrar tendencias de déficit hídrico en el sector, mediante un análisis de nieve (NDSI y SWE) y un balance hídrico simplificado, a partir de este análisis se propuso evaluar los sistemas de riego actuales.

Palabras clave: *Kageneckia angustifolia*, compensación, sobrevivencia, revegetación.

ABSTRACT

The Alto Maipo Hydroelectric Project (PHAM), corresponds to one of the large works located in the Metropolitan Region, consisting of two hydraulic series that aim to generate the equivalent energy of 531MW, which will be directed directly to the Central Interconnected System (SIC).

For the execution of the project, it was necessary to intervene mountain ranges, in addition to vegetation in conservation category, for which the company was submitted to the Environmental Evaluation Service (SEA), committing to perform compensation actions. Among these commitments, there is the planting of 10 specimens for each affected individual of the species *Kageneckia angustifolia*. At present, significant knowledge of the species and its plantation techniques has been achieved, however, efforts have not been sufficient to ensure what is required by the inspection institution (CONAF).

The objective of this work was to evaluate the propagation and revegetation actions within the framework of the environmental commitments acquired by the company, in the El Durazno sector, San José de Maipo. For this purpose, an analysis of the execution of actions by the company was carried out, some variables were identified that could affect the survival of the species and finally a proposal of actions that could be carried out to improve the set-ups both in the nursery and plantation.

Within the analysis carried out on the actions, the low setbacks in relation to what is expected for exotic wood species are corroborated, the oldest planted specimens being those with the lowest yields.

The soil of the plantation sites is in good conditions for the establishment of vegetation, on the other hand, there was the finding of fungal hyphae in an adult forest of frangel adjacent to the study area, so it was proposed to study this variable. Hydroclimatic variables were studied, where it was possible to find trends of water deficit in the sector, through a snow analysis (NDSI and SWE) and a simplified water balance, from this analysis it was proposed to evaluate the current irrigation systems.

Key words: *Kageneckia angustifolia*, compensation, survival, replanting.

Kageneckia angustifolia D. Don es una especie de hábito arbóreo-arbustivo, que se puede encontrar en quebradas y faldeos de la Cordillera de los Andes, desde de Coquimbo hasta Maule y su categoría de conservación según MMA es Casi Amenazada (NT), sin embargo, 40% de la población se encuentra en la Región Metropolitana, siendo afectada principalmente por la ejecución de megaproyectos de inversión e infraestructura del tipo lineal asociadas al sector energético y minería, y la extracción de tierra de hojas y suelo, por lo que se prevé que en un futuro cercano pueda satisfacer criterios para clasificarla en una categoría de mayor peligro (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

En el marco del proyecto, las áreas comprometidas para reforestación de *Kageneckia angustifolia* corresponden principalmente a 30,5 ha, ubicadas en sector El Durazno, en donde se plantará en una relación de 10 ejemplares por cada individuo intervenido, considerando que se afectarán un total de 3.011 individuos de la especie (Comisión Regional de Medio Ambiente Región Metropolitana, 2009). En contraparte, se observa una alta mortalidad de individuos de *K. angustifolia* tanto en vivero como en campo, a pesar del alto nivel de tecnificación y cuidados culturales. Los prendimientos en terreno, observados en otras plantaciones de *K. angustifolia* suelen ser inferiores al 75% exigido por la autoridad ambiental sectorial responsable que en este caso corresponde a la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2008).

Por lo anterior, es necesario identificar variables que afectan al desempeño de la especie, con el fin de mejorar los procesos involucrados tanto en la etapa de viverización como en la ejecución de obras de plantación. La sistematización de los estudios y acciones utilizadas para frangel en el proyecto Alto Maipo, permiten contribuir al conocimiento y gestión de la especie en proyectos de compensación ambiental.

El presente estudio corresponde un informe de actividades de práctica profesional, realizado en el área ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, con dependencias en la Comuna de San José de Maipo, Chile.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar acciones en propagación y revegetación de *Kageneckia angustifolia* D. Don, en el marco del cumplimiento de compromisos ambientales del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo SPA (PHAM).

2.2 Objetivos específicos

Analizar la ejecución de acciones para el cumplimiento de medidas ambientales de la especie de interés.

Identificar variables que pueden influir en la sobrevivencia de *K. angustifolia*, en la zona de estudio.

Proponer acciones que tiendan a mejorar las técnicas de viverización y plantación de la especie de interés.

3 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Material

La documentación obtenida pertenece a los registros de actividades realizadas desde el inicio de las obras, tanto en el vivero como en plantación. La información recopilada se extrajo principalmente de inventarios entregados por la empresa, como información colectada en terreno, la cual fue complementada con información bibliográfica.

3.1.1 Caracterización del lugar

El área de estudio comprende las instalaciones del Vivero Alto Maipo, el cual está ubicado en la localidad de Los Maitenes. Cuenta con riego tecnificado y tratamiento para enfermedades y una capacidad instalada para 320.000 plantas y para reproducir 50.000 plántulas en almacigueras (AESGENER, 2018c).

La Resolución de calificación ambiental (Comisión Regional del Medio Ambiente Región Metropolitana, 2009) declara una superficie comprometida para revegetación de 36 ha, de las cuales 30,5 ha son exclusivamente para plantación de *K. angustifolia* en el sector El Durazno, que corresponden a las que se estudian en este informe (Figura 2).

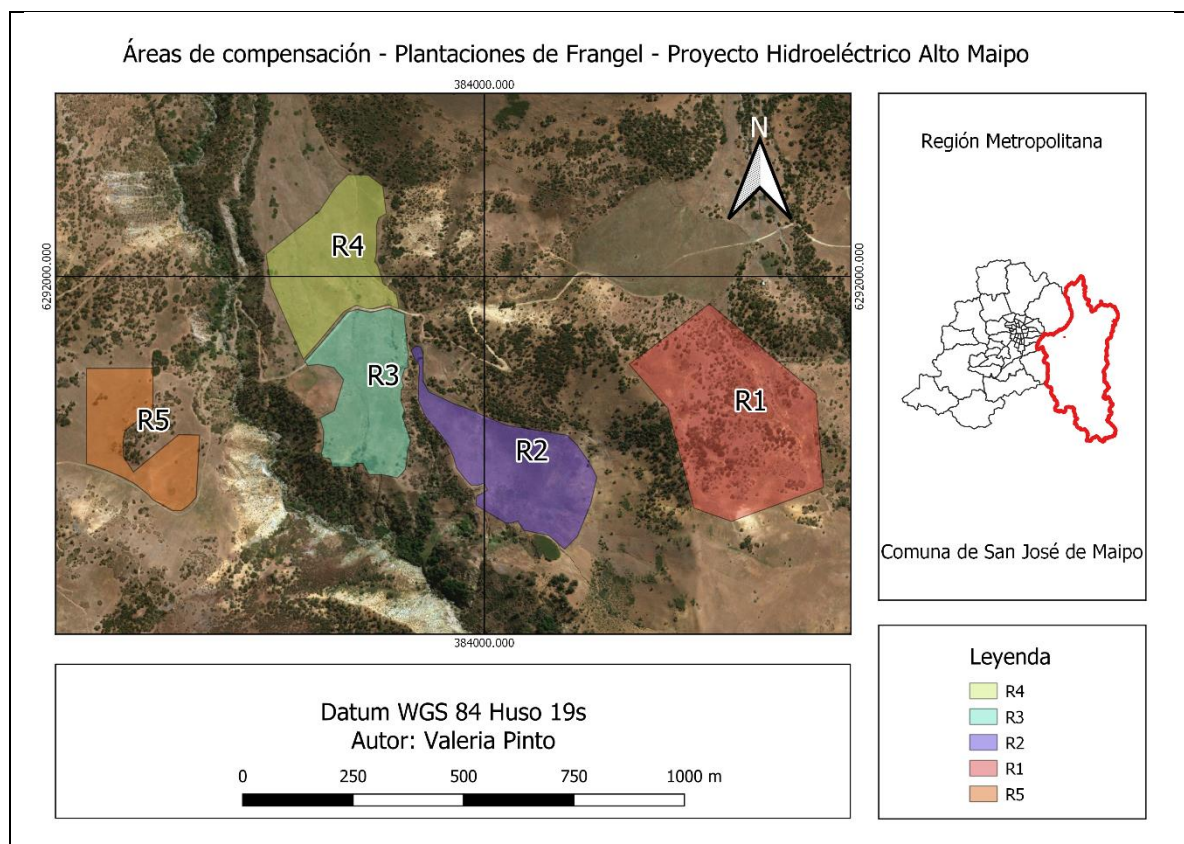


Figura 2. Rodalización de revegetación de *K. angustifolia* (R), en el sector de El Durazno, Comuna de San José de Maipo.

3.2 Métodos

3.2.1 Análisis de la ejecución de acciones en cumplimiento de medidas ambientales para la especie de interés.

Se obtuvo información desde la empresa sobre algunos inventarios que comprenden principalmente el proceso de viverización, desde la colecta de semillas, análisis de semillas, no solo de la especie en estudio, sino que de las que se encuentran comprometidas para restauración.

Se realizaron visitas a terreno para apoyar las labores de levantamiento de datos de prendimiento y de observaciones de terreno.

3.2.2 Identificación de variables que pueden influir en la sobrevivencia de *K. angustifolia*, en la zona de estudio.

Se describieron las principales variables que afectan la sobrevivencia de *K. angustifolia* en la zona de estudio. Estas variables se dividieron en edáficas y climáticas y se detallan a continuación.

3.2.2.1 Variables edáficas

A partir de la información colectada desde las prospecciones realizadas en el rodal R2 y R3, realizadas a fines de 2017 y principios de 2018, se realizó un análisis de suelo. La información corresponde a tres pedones en los rodales y un punto correspondiente a una muestra compuesta realizada a un bosque natural de frangel aledaño al rodal R2, como se observa en la figura 3, con el fin de realizar un análisis comparativo. Las muestras realizadas en los rodales corresponden a cada horizonte encontrado en cada uno de los pedones, mientras que para la muestra compuesta se extrajo muestras aleatorias del primer horizonte en varios sectores del bosque.

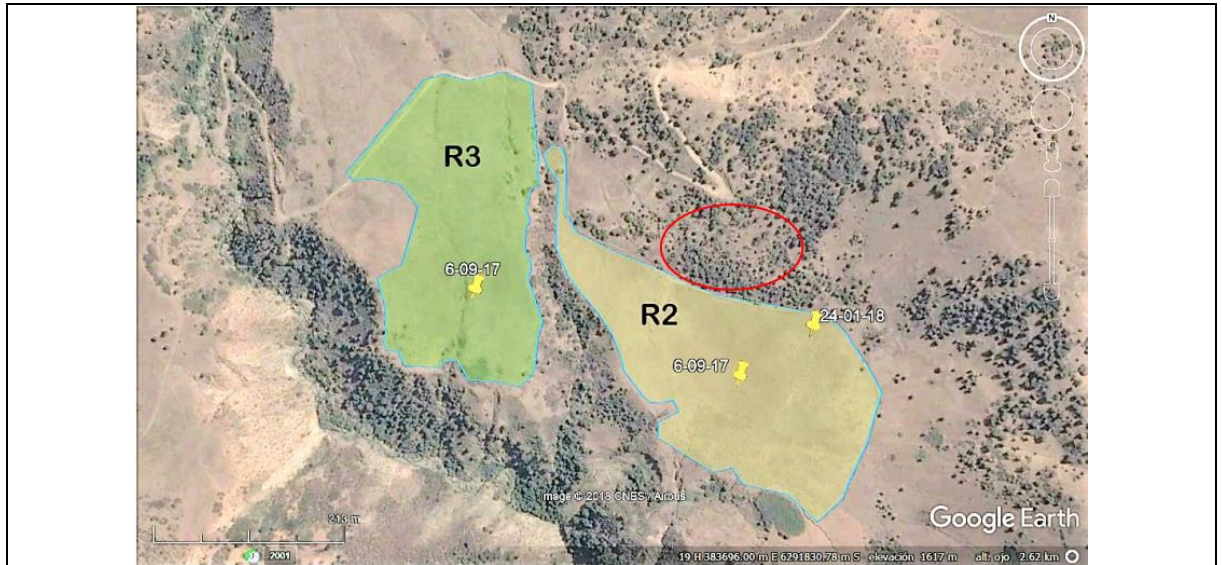


Figura 3. Rodales R2 y R3 ubicados en el sector El Durazno y en el círculo rojo ubicación de Bosquete de frangel muestreado.

La información obtenida cuenta con pautas de descripción morfológica e informe fisicoquímico de laboratorio. Dentro de la información morfológica se encuentra material de origen, pendiente, pedregosidad, tipo y grado de erosión, drenaje, clase de capacidad de uso, color, textura, estructura, consistencia, presencia de raíces, prácticas de manejo y observaciones del lugar.

En el análisis químico se encuentra información de parámetros como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, macro y microelementos disponibles, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases. Mientras que dentro del análisis físico se encuentra determinación de la clase textural (textura y granulometría), densidad aparente y real, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, macro y microporosidad (porosidad total).

Para la interpretación de los datos, se utilizaron mayoritariamente referencias bibliográficas de cultivos agrícolas, debido a que la escasez de información en esta materia respecto a bosque nativo, en conjunto con los datos resultantes de la información fisicoquímica proveniente de la muestra compuesta.

3.2.2.2 Variables climatológicas

Para el análisis climatológico del lugar, se obtuvieron datos desde la plataforma CAMELS-CL del CR2, que poseen datos históricos desde las estaciones: río Colorado antes de la junta río Olivares y río Olivares antes de la junta río Colorado. Este análisis se realizó considerando la base de datos, extraídas de la plataforma con precipitación media y máxima mensual, temperaturas media y máxima mensual, potencial de evapotranspiración (PET de Hargreaves) y Snow water equivalent (SWE). Se analizó la tendencia de estos datos y se realizó una estimación del cálculo de balance hídrico para la cuenca (Álvarez-Garretón, 2018).

a) Balance hídrico

Los balances hídricos permiten cuantificar distintos fenómenos hidrológicos y para realizar el cálculo la ecuación indica valores relativos de entradas y salidas de flujo y la variación del volumen de agua en una región, sin embargo los datos necesarios para realizar los cálculos no siempre son de fácil acceso o simplemente no existen, dado esto Vargas *et al.*,(2012) consideran un cálculo simplificado del balance hídrico para una cuenca en donde se considera precipitación, escorrentía y evapotranspiración, teniendo como resultado una diferencia de 5mm respecto del cálculo más completo.

Se realizó el cálculo de balance hídrico utilizando los datos provenientes de CAMELS-CL, desde 1986 a 2016, utilizando la siguiente formula 1 de Álvarez-Garretón, (2018).

Fórmula 1. Formula simplificada de balance hidrico anual.

$$A = Pp - Q - PET$$

Donde A corresponde al resultado del balance anual (almacén)

Pp es la precipitación media anual

Q es la escorrentía de la cuenca

PET es la evapotranspiración potencial de Hargreaves

Fuente: (Vargas *et al.*,2012)

Se analizó el resultado del balance hídrico con la prueba Mann Kendall, la cual corresponde a una prueba no paramétrica, utilizada para identificar tendencias en series de tiempo de variables hidrometeorológicas (López *et al.* 2007). La prueba toma como hipótesis nula que los datos son independientes y aleatoriamente ordenados, en otras palabras, no hay tendencia o estructura de correlación alrededor de las observaciones (Cantor, 2011).

b) Análisis de tendencia SWE

El equivalente de agua en nieve o Snow water equivalent (SWE), corresponde a la representación de la altura de la lámina de agua generada, si un volumen de nieve con determinada densidad es derretido por completo, generándose un volumen de agua líquida (Cornwell *et al.* 2016).

Se analizaron los datos de SWE, provenientes de la plataforma CAMELS-CL, el cual entrega un valor diario para la cuenca en la que se encuentran los rodales, por lo que se llevó a un valor mensual. Este análisis se realizó con el fin observar el comportamiento de esta variable respecto del almacén de agua (volumen) existente a partir de las masas de nieve, el cual no ha sido agregado al cálculo de balance hídrico anterior, debido a que no sería prudente agregar este valor sin tener certeza del momento en el que ocurre el derretimiento, además de que existen otros fenómenos dentro del ciclo que afectan esta variable (temperatura, radiación, entre otros).

c) Análisis de serie de tiempo de NDSI (Normalized Difference Snow Index)

Con el fin de realizar un análisis de los ciclos nivales del sector se utilizó NDSI, índice del cual, a través de una serie temporal, se pueden identificar los periodos en los que se produce el inicio, término y duración de los periodos nivales.

El NDSI, es un índice de diferencia normalizada, el cual permite detectar la cubierta de nieve en determinados sectores, para ello utiliza las bandas verdes (0.520-0.600 μm) e infrarroja de onda corta (1.550-1.750 μm) del espectro electromagnético, ya que la nieve tiene un comportamiento diferencial (Figura 4) entre ambas bandas (muy reflexiva en el visible y absorbente en el infrarrojo medio), como se observa en la ecuación de la Fórmula 2 (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), 2017).

Fórmula 2. Formula NDSI

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Donde Green = bandas verdes (0.520-0.600 μm)

SWIR = “Short Wave InfraRed” Banda infrarroja de onda corta (1.55-1.75 μm)

Fuente: (CREAF, 2017)

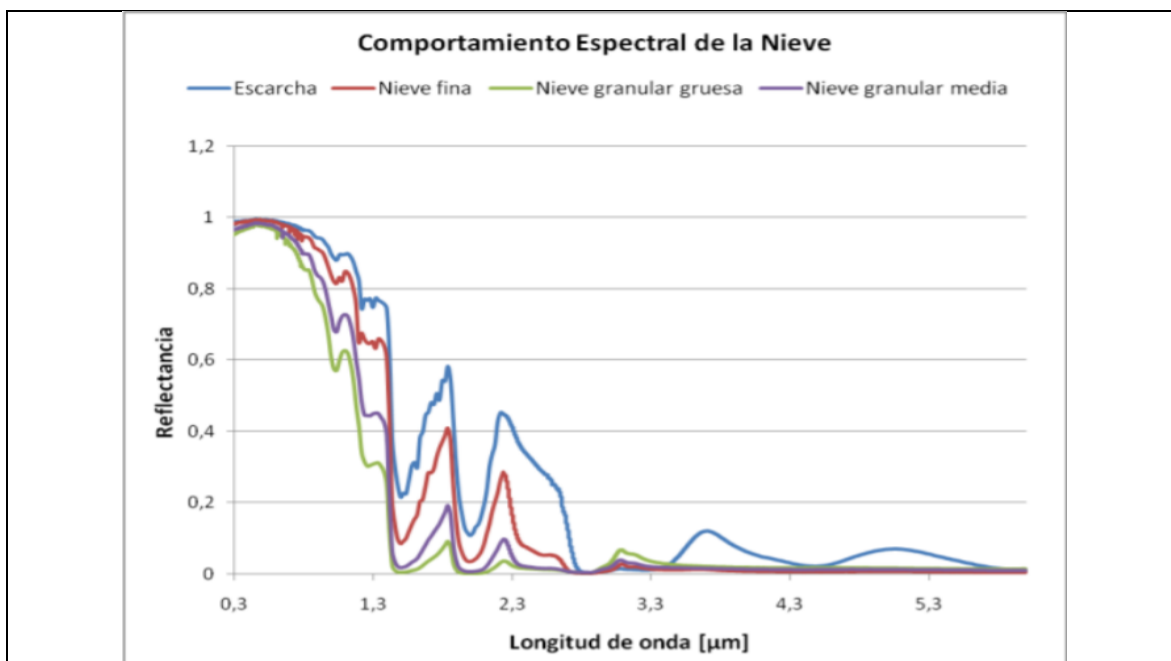


Figura 4. Firma espectral nieve (Hernández, 2011)

Para este análisis se utilizaron series de NDSI a partir de imágenes MODIS del producto MOD10A1 (Hall *et al.*, 2016). Los datos se procesaron y extrajeron de la plataforma Google Earth Engine, utilizando el promedio de NDSI y NDSI Snow Cover de los rodales del sector. El valor de NDSI snow cover corresponde a una aproximación de la cobertura de nieve del lugar tomando valores entre 0 y 1, correspondiendo al porcentaje de cobertura de nieve, valores mayores a 100%, se consideran como valor 1. Ambas variables se utilizaron para precisar los periodos de inicio, término y duración de la temporada nival.

Además, este producto contiene otras variables como NDSI Quality Assessment (QA) data, el que corresponde a un indicador de calidad de los datos, resultante de un análisis cualitativo básico por píxel al algoritmo resultante. El mapeo de nieve tiene muchas dificultades como la separación de las nubes, debido a que son igual de brillantes de que la nieve, y la sombra de montaña que hace difícil la apreciación de algunas zonas dependiendo de la posición del sol a la que está expuesta. El valor QA indica la confianza con que están realizados los cálculos de cada imagen (Earth Observing System (EOS), 2019; Cartes, 2009). En este análisis solo se utilizaron imágenes con píxeles de calidad 0 y 1 para tener una seguridad de los datos utilizados, estos valores indican que la calidad de los píxeles es adecuada para realizar este tipo de actividad.

El producto presenta datos a partir del 24 de febrero de 2000 y se mantiene en constante actualización. En este análisis se analizaron datos desde el año 2000 a 2018. Se extrajeron los datos de la superficie compuesta por los rodales (integración de todos los polígonos) y se utilizó la media como indicador representativo de los rodales.

3.2.3 Propuestas de acciones que tiendan a mejorar las técnicas de viverización y plantación de la especie de interés.

Finalmente, con la información necesaria, se proponen medidas a partir de los problemas detectados, ya sean más estudios para determinar la efectividad de ellos o proponiendo soluciones que pueden ser aplicables directamente.

3.2.4 Actividades requeridas por la empresa

Se colaboró en actividades de la empresa correspondientes a Plan de recuperación del ecosistema en sectores afectados por la intervención realizada el año 2012 producto de la habilitación de huellas de acceso para la instalación de postes de la línea de transmisión eléctrica S/E Queltehues – El Volcán, en el marco del cumplimiento del considerando 9.2.1 de la Resolución Exenta N° 395 del 16 de agosto de 2013 de la Comisión de Evaluación de la Región Metropolitana, Alto Maipo SpA.

El estudio de huellas de acceso tiene dos objetivos principales que corresponden a 1) identificar y dimensionar la superficie de las huellas generadas por la instalación de los postes y que constituyen el objeto del plan de recuperación del ecosistema y 2) Caracterizar la vegetación donde se insertan las huellas y la calidad de las barreras (pircas) instaladas para prevenir la entrada de vehículos.

La actividad consistió en el registro fotográfico de cada huella (barrera y alrededores), con su respectiva ubicación GPS. También el registro de la vegetación existente en lugar, con el objetivo de observar la recuperación de dichos sectores intervenidos y evaluar la necesidad de revegetación de la zona.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la ejecución de acciones para el cumplimiento de medidas ambientales de la especie de interés

4.1 Prendimientos

Los siguientes datos corresponden a los prendimientos resultantes del primer y segundo periodo de 2018. Como se puede apreciar los periodos con mayor sobrevivencia corresponden a rodales más recientemente plantados, como son R5 y R7, mientras que se puede apreciar un bajo prendimiento o sobrevivencia en los rodales restantes, a pesar de los esfuerzos realizados.

Cuadro 1. Cálculos de los prendimientos durante el año 2018.

Rodal	Año Plantación	Superficie	Período	Total a Plantar	Densidad por resolución (arb/ha.)	Densidad plantas vivas (arb/ha.)	Prendimiento (%)
R1	2012	10.5	jun-18	10,500	1,000	414	41%
			nov-18	10,500	1,000	446	45%
R2	2014	7.2	jun-18	7,200	1,000	129	13%
			nov-18	7,200	1,000	104	10%
R3	2016	6.25	jun-18	6,250	1,000	608	61%
			nov-18	6,250	1,000	463	46%
R4	2016	6.8	jun-18	6,800	1,000	289	29%
			nov-18	6,800	1,000	439	44%
R5	2016	5.1	jun-18	5,100	1,000	933	93%
			nov-18	5,100	1,000	772	77%
R7	2017	0.22	jun-18	248	1,127	1050	93%
			nov-18	248	1,127	996	88%

4.1.1 Revisión de informes de colecta y análisis de semillas de especies altoandinas de interés

Se analizó una serie de informes elaborados por distintas empresas para el PHAM, donde se detallan los procedimientos de colecta, análisis de semillas y algunos ensayos, para las temporadas de los años 2013, 2015 y 2016. A continuación, se detallan aspectos relevantes de las experiencias realizadas en especies altoandinas de interés (entre ellas *K. angustifolia*) con las se ha trabajado en estos últimos 5 años en el marco de los compromisos ambientales de la empresa.

4.1.1.1 Seguimiento fenológico

Durante la temporada 2013-2014 (+MG, 2014), se realizó un reconocimiento visual de la fase o estado de las especies en cada visita, las que se identificaron como: desarrollo de yema foliar, elongación de brotes, desarrollo de yema floral, floración, formación de frutos, desarrollo de frutos, maduración de frutos y/o semillas y dispersión.

Esta actividad se realizó con el objetivo de evaluar el estado de los sectores de colecta y determinar las fechas correctas para realizar dichas labores en cada especie y hacerla más eficiente desde el punto de vista de la planificación. Finalmente, sirvió para identificar el estado fitosanitario de los ejemplares de colecta, donde se pudo observar individuos en mal estado (infectados por hongos e insectos y registros de ramoneo).

Dentro de las observaciones se encontró que la variación entre estados fitosanitarios dependía de la altitud y las condiciones ambientales imperantes del lugar. Para el caso del cajón del río Colorado (entre los 1.100 msnm y 1.500 msnm), las especies tenían un desarrollo más temprano que en el Yeso (1.300 a los 2.400 msnm) y Volcán (1.300 msnm y 1.500 msnm), produciéndose la maduración de frutos antes en altitudes menores.

Algunas observaciones encontradas en el seguimiento fenológico en el sector de Colorado indican que en las primeras visitas (octubre, 2013) se encontró desarrollo abundante de yemas florales e incipiente floración en *K. angustifolia*. Sin embargo, en diciembre del 2013, comenzó un aborto masivo, en conjunto con la proliferación de hongos e insectos, esta situación también se vio en el Sector de El Durazno. Cabe destacar que poco después de las primeras visitas *Kageneckia oblonga* y otras especies se encontraban con desarrollo de yemas florales, no obstante, ya presentaba indicios de ataque de hongos. Finalmente, en diciembre, estas especies del género *Kageneckia* solamente 20% de los ejemplares presentarían formación de frutos.

A continuación, se presentan las fases o estados fenológicos registrados en la temporada 2013- 2014 para *K. angustifolia*, registrados por la empresa +MG (Cuadro 2), lo que concuerda con Gutiérrez *et al.*, (2013) quienes comentan que la floración se produce entre los meses de noviembre y principios de diciembre, mientras que la semillación ocurre desde febrero y se extiende hasta finales de abril.

Cuadro 2. Fechas registradas de fase o estado fenológico en *Kageneckia angustifolia*.

Fase o Estado fenológico	Fechas aproximadas en temporada 2013-2014
Desarrollo yema floral	octubre hasta principios de noviembre
Floración	noviembre
Formación de Frutos	noviembre a diciembre
Desarrollo Frutos	diciembre
Maduración Frutos	enero
Dispersión Frutos	febrero

Fuente: +MG (2014).

Durante las siguientes temporadas (2015, 2016), en los informes analizados no se menciona la realización del seguimiento fenológico, pero se utiliza la información colectada y se toman medidas en lugares de colecta.

4.1.1.2 Colecta y limpieza de semillas

A continuación, se presenta la información correspondiente a los registros de colecta de semillas para las temporadas 2013- 2014, 2014-2015 y 2015-2016, en conjunto con resultados generales de las labores de limpieza de semillas, ejecutada por diferentes empresas colaboradoras del proyecto.

- Temporada 2013-2014

Se obtuvieron los registros de colecta de semillas de la temporada 2013 – 2014 (+MG, 2014), en ella se señala que se realizaron observaciones fenológicas para mostrando los ciclos de las especies con las que se debe compensar, por lo que se analizó patrones de floración, fructificación y dispersión de semillas.

Para la colecta de semillas se consideró 30% de mortalidad en el vivero Maitenes, obteniendo a partir de 230 lotes correspondientes a 44 especies distintas.

Se utilizó semilla local, la cual se explica que corresponde a sectores sujetos a influencias climáticas similares dentro de un rango no superior a 300 m de elevación. Para ello realizaron una zonificación, dentro de la cual se encuentran tres zonas de colecta que corresponden a los cajones de los ríos Colorado, Volcán y Yeso.



Figura 5. Mapa de procedencias para la colecta de semillas, Cajones de Río El Colorado, El Yeso, Las Lajas y El Volcán, Comuna de San José de Maipo. Fuente: Servicios Integrales San José (2016).

Se registra en los informes que en la localidad de El Yeso se utilizó mallas colectoras de semillas (Instaladas en las jornadas entre 27 de enero, 04 de febrero de 2014) en ejemplares de *Quillaja saponaria* y *Kageneckia angustifolia*, las que fueron colectadas el 13 de febrero de 2014.



Figura 6. Mallas colectoras de colecta en *Kageneckia angustifolia*, sector Colorado. Fuente: +MG (2014).

En el caso de *Kageneckia angustifolia*, en todo El Colorado los ejemplares visitados se encontraban afectados por patógenos e insectos, siendo difícil la obtención de semilla de calidad. Del total de semilla colectada (1.010 g), sólo un 3% se tradujo en propágulos limpios y sanos (26,9 g).



Figura 7. Perforaciones por insectos y ataque de hongos en frutos de frangel, 05 de febrero de 2014 (El Colorado). Fuente: +MG (2014)

En la colecta realizada en el sector de El Durazno se detectó frutos con larvas y ejemplares atacados por plantas hemiparasitas (Quintral) en *K. angustifolia*, como se puede observar en la figura 9.



Figura 8. En la primera imagen a la izquierda frutos de frangel atacados por larvas, segunda a la derecha ejemplar de frangel infectado por quintral. Fuente: +MG (2014)

Cuadro 3. Requerimientos y pesos de semillas colectadas de especies de difícil colecta junto con las razones por las que no se logró la colecta deseada.

Especie	Sector	Semillas requeridas (g)	Semillas colectadas (peso bruto, g)	Semillas colectadas (peso limpio, g)	Justificación
<i>Kageneckia angustifolia</i>	Colorado	439,3	1.010	26,9	Frutos atacados por insectos, semillas con presencia de larvas. Presencia de hongos
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Volcán	49,5	374	41,2	Frutos consumidos por aves
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Yeso	2,3	0	0	Baja fructificación
<i>Ephedra chilensis</i>	El Volcán	3.565,10	927	156	Plantas ramoneadas por ganado caprino. Frutos atacados por insectos, semillas con presencia de larvas
<i>Ephedra chilensis</i>	El Yeso	6.694,40	4.676,00	874,7	Plantas ramoneadas por ganado caprino. Frutos atacados por insectos, semillas con presencia de larvas
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	El Yeso	1,6	0	0	Baja fructificación

Fuente: +MG (2014)

Con respecto al cuadro 3, se menciona dentro del informe que no fue posible colectar el total de semillas necesaria estimada, debido a distintas razones, entre ellas: 1) Ramoneo causado por ganado caprino, que afectó la disponibilidad de colecta de semillas de especies como *Ephedra chilensis*. 2) Ornitocoría por parte de aves a frutos de algunas especies como

Berberis empetrifolia. 3) Granivoría por parte de lagomorfos en *Alstroemeria sp* y *Erioseye curvispina*. 4) Patógenos en *Kageneckia angustifolia*, *Kageneckia oblonga*, *Quillaja saponaria* y *Schinus montanus* en fase de yema floral y fruto, además de ataque de insectos y larvas al interior de semillas caso de *Ephedra chilensis*.

La ejecución de la limpieza de semillas fue de forma manual y se realizó de forma casi simultánea con la colecta, desde donde se obtuvo 44.720 gramos de semilla en peso limpio del total de las especies colectadas.



Figura 9. Limpieza de semillas de *K. angustifolia*. Fuente: +MG (2014).



Figura 10. Insecto encontrado durante la limpieza de semillas de *K. angustifolia*. Daño provocado por insectos a semillas de *K. angustifolia*. Fuente: + MG (2014).

- Temporada 2014-2015

La colecta de semillas durante la temporada 2014-2015 (Servicios Integrales San José, 2015), se realizó en cuatro procedencias que corresponden a las anteriormente mencionadas, además de que se realizó una separación a la del Cajón Colorado, agregando la procedencia Las Lajas (Figura 6).

La colecta se realizó evitando semillas con parásitos (hongos e insectos), sin embargo en los casos en los que no se encontró suficiente semilla se colectó de igual manera de forma que se cumpliera con la colecta requerida.

Cabe destacar que en esta oportunidad se tomaron muestras de material vegetal para la producción de estacas con el fin de probar una propagación de tipo vegetativa. Las estacas que se produjeron correspondieron a las especies que en esa temporada se colectó en menor cantidad de semillas o simplemente por su baja viabilidad. Se realizó en ocho especies entre

las especies se encuentra *Chuquiraga oppositifolia*, *Ephedra chilensis*, *Tetraglochin alatum*, *Berberis empetrifolia*, entre otras.

A continuación los requerimientos en plantas de especies altoandinas de mayor relevancia (cuadro 3). Se estimó en esta temporada que era necesario obtener 67,8 kilogramos de semillas en total para todas las procedencias.

Cuadro 4. Requerimientos en numero de plantas estimados en la temporada 2015 de algunas especies para los distintos planes de compensacion de la empresa PHAM.

Especie	2014	2015	2016	2018	Total
<i>Kageneckia angustifolia</i>	7.200	794	19.529	1.180	28.703
<i>Berberis empetrifolia</i>	2.372	2.701	17.868	0	22.941
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	1.573	3.917	19.862	0	25.352
<i>Ephedra chilensis</i>	4.364	3.438	14.340	0	22.142
<i>Porlieria chilensis</i>	2.600	2.900	0	0	5.500
<i>Tetraglochin alatum</i>	1.777	9.487	12.135	0	23.399

Fuente: Servicios Integrales San José (2015)

Durante la temporada 2015 se logró coleccionar 171,6 kilos de frutos del total de las especies, que corresponde a 75,7 kilos de semillas limpias, de estos 58,3 kilos corresponden a semillas requeridas por el PHAM y el resto a excedentes de colecta de algunas especies, logrando un cumplimiento en la colecta de un 80,2% respecto al total de semillas requeridas.

Cuadro 5. Requerimientos y pesos de semillas colectadas según especie para la temporada 2015.

Especies	Procedencia	Semillas requeridas (g)	Frutos colectados (g)	Semillas limpias (g)	Porcentaje de colecta (%)
<i>Ephedra chilensis</i>	Colorado	0,1	318	62	100
	Las Lajas	3,05	42	6,4	100
	El Yeso	450,37	4.350	284	63
	El Volcán	321,78	791	56	17
	Total	775,3	5.501	408,4	100
<i>Kageneckia angustifolia</i>	Colorado	469,3	2.950	743	100
	Las Lajas	7,08	0	333	100
	El Yeso	32,65	786	366	100
	El Volcán	19,94	126	23	100
	Total	528,97	3.862	1.465	100
<i>Porlieria chilensis</i>	Colorado	1.399,20	14.893	3.185	100
<i>Tetraglochin alatum</i>	Colorado	14,88	0	35	100
	Las Lajas	36	0	0	0
	El Yeso	143,73	144,2	55,8	38
	El Volcán	10,18	0	0	0
	Total	204,79	144,2	90,8	44
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Las Lajas	0,47	0	72	100
	El Yeso	105,62	396	178	100
	El Volcán	134,06	309	198,9	100
	Total	240,15	705	448,9	100
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Yeso	287,6	644	64	22
	El Volcán	372,51	2.193	178,9	48
	Total	660,11	2.837	242,9	37

Fuente: Servicios Integrales San José (2015).

Cabe destacar que cumplimientos de algunas zonas de colecta se resolvieron agregando material guardado de la temporada anterior, como en el caso de *K. angustifolia* y *C. oppositifolia*.

- Temporada 2015-2016

Para la temporada 2015-2016 (Servicios Integrales San José, 2016), se requieren al menos 67,8 kilos de semillas, para cumplir con los requerimientos de plantas de los compromisos.

Cuadro 6. Requerimientos estimados en la temporada 2016 de especies de interés para los distintos planes de compensación de la empresa PHAM.

Especie	Sector	Cantidad de Semillas a Colectar (g)				
		2014	2015	2016	2018	total
<i>Ephedra chilensis</i>	COLORADO	0	0	0,1	0	0,1
	LAS LAJAS	0	0	3,05	0	3,05
	EL YESO	152,2	29,85	268,31	0	450,37
	EL VOLCAN	0	90,05	231,72	0	321,78
<i>Kageneckia angustifolia</i>	COLORADO	127,36		321,06	20,87	469,3
	LAS LAJAS	0	0	7,08	0	7,08
	EL YESO	0	5,71	12,79	14,15	32,65
	EL VOLCAN	0	8,33	11,6	0	19,94
<i>Porlieria chilensis</i>	COLORADO	661,44	737,76	0	0	1.399,20
<i>Tetraglochin alatum</i>	COLORADO	11,33	0	3,55	0	14,88
	LAS LAJAS	0	0	0,36	0	0,36
	EL YESO	1,49	68,43	73,81	0	143,73
	EL VOLCAN	0	0	10,18	0	10,18
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	LAS LAJAS	0	0	0,47	0	0,47
	EL YESO	14,87	3,61	87,14	0	105,62
	EL VOLCAN	0	33,42	100,64	0	134,06
<i>Berberis empetrifolia</i>	EL YESO	68,25	1,21	218,14	0	287,6
	EL VOLCAN	0	76,51	296	0	372,51

Fuente: Servicios Integrales San José (2016).

Se pudo colectar un total de 172,27 kilos de frutos, de los cuales después de la limpieza equivalen a 60,6 kilos de semillas limpias, de estos 55,3 kilos corresponden a semillas requeridas por el PHAM y las restantes a excedentes de colecta de algunas especies, logrando un cumplimiento en la colecta de un 96 % respecto al total de semillas requeridas.

Cuadro 7. Requerimientos y pesos de semillas colectadas según especie para la temporada 2016.

Especie	Sector	Semillas Requeridas (g)	Frutos colectados (g)	Semillas limpias (g)	Porcentaje de colecta (%)
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Yeso	287,6	18208,7	1590,05	100
	El Volcán	372,51	7496	729	100
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	El Yeso	106,1	236,26	149,9	100
	El Volcán	134,06	505,8	318,1	100
<i>Ephedra chilensis</i>	Colorado	0,1	938,11	49,92	100
	El Yeso	453,42	31803,1	2794,79	100
	El Volcán	321,78	1816,2	2527,5	100
<i>Kageneckia angustifolia</i>	Colorado	469,3	905,66	470,08	100
	El Yeso	39,73	244,58	34,91	100
	El Volcán	19,94	878	109	100
<i>Porlieria chilensis</i>	Colorado	1399,2	8779,56	1458,38	100
<i>Tetraglochin alatum</i>	Colorado	14,88	968,1	494,69	100
	El Yeso	144,09	741,24	375,29	100
	El Volcán	10,18	1927	1070	100

Fuente: Servicios Integrales San José (2016).

En esta oportunidad, al igual que en la temporada 2015 hubo colecta de estacas, sin embargo, solo se realizaron en las especies *Chuquiraga oppositifolia* y *Ribes cucullatum*, La primera debido a que, a pesar de obtener una buena colecta, en temporadas anteriores se ha visto baja viabilidad, la segunda debido a que solo fue posible colectar en una procedencia (El Yeso), inclusive con excedente, no así en El Volcán, por lo que se decide estudiar este tipo de propagación.

Se tomó como medida la instalación de cercos de exclusión en las especies *Adesmia gracilis* y *Chuquiraga oppositifolia*, con la finalidad de evitar el ramoneo por parte de ganado, además de ello se aplicó fertilizante e insecticida para la protección de los ejemplares. Como resultado de esta acción, la floración en *C. oppositifolia* mejoró en cantidad, pero esto no incidió en la calidad de sus semillas, por otro lado, en *A. gracilis*, no se observó respuesta.



Figura 11. Cercado de individuos de cosecha de *Chuquiraga oppositifolia* y *Ribes cucullatum*. Fuente: Servicios Integrales San José (2016)

4.1.1.3 Análisis de semillas

- Temporada 2013-2014

Durante la temporada 2013-2014 (Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales, 2014) se entrega la totalidad de las semillas colectadas al Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF), de los 41.297,8 gramos para almacenamiento y posterior producción de plantas en vivero, y 3.423,1 gramos destinados a la determinación de parámetros físicos y de germinación de las semillas.

El total de las semillas obtuvo un 31% de pureza, inferior a la temporada 2012-2013 en la cual de 45%. Alcanzándose finalmente 67,7% del total de los compromisos de la empresa.

La metodología utilizada por CESAF para el análisis corresponde a la estandarización normada por ISTA (Asociación Internacional de Análisis de Semillas), en donde se estudiaron parámetros básicos tales como: número de semillas por kilogramo, porcentaje de contenido de humedad, porcentaje de viabilidad (análisis de corte o flotación), capacidad y energía germinativa para tratamientos efectuados.

Se detallan en el anexo I, los resultados de viabilidad y los tratamientos realizados en especies altoandinas de interés. De estos análisis se extraen los principales resultados que se presentan a continuación por especie:

Berberis empetrifolia

Se analizó solo un lote de esta especie, la cual presentó una viabilidad de 87%. Se realizaron tres tratamientos remojo en agua por 24 horas (T1), estratificación por 30 (T2) y 45 días (T3), de los cuales T2 resultó con los mejores resultados con una capacidad germinativa de 60% y energía germinativa de un 50%.

Kageneckia angustifolia

La viabilidad se encuentra entre 85 y 100%. Se realizó un tratamiento de remojo en agua por 24 horas (T1) y un testigo (T0), los cuales reaccionaron de forma semejante en los 8 lotes analizados, la capacidad germinativa varía entre 60 y 100%, siendo levemente más favorable

el remojo en agua para la mayoría de los lotes. En cuanto a energía germinativa los mejores valores los obtiene el testigo variando entre 34 y 86%.

Porlieria chilensis

Se analizaron dos lotes de los cuales se obtuvo 89 y 95% de viabilidad. Se realizaron tres tratamientos: estratificación fría por 30 días (T1), 45 días (T2), y remojo en ácido giberélico en solución de 400 ppm (T3). Se obtuvo que todos los ensayos presentaron problemas de hongos, los cuales se trataron de evitar de diversas formas, sin embargo, no hubo resultado, razón por la cual se vieron afectados los ensayos, logrando el mejor ensayo una capacidad germinativa de 10% en ácido giberélico.

Tetraglochin alatum

Para esta especie se realizaron tres tratamientos, los cuales consistieron en un testigo (T0), remojo en agua por 24 horas y 8 horas de luz diaria (T1), a partir de realizar este ensayo se descubrió que existían abundantes semillas que flotaban (inviabiles), sin embargo esto no coincidía con los porcentajes de viabilidad obtenidos que rondaron entre un 20 y 70%, por lo que se realizó un ensayo de corte que permitió observar que varias de las semillas flotantes poseían un buen estado del embrión por lo que se realizó un ensayo aparte para estas semillas (T2).

Chuquiraga oppositifolia

Se analizaron dos lotes, en los cuales se obtuvo una viabilidad de 10 y 12%. Se utilizó tratamiento de remojo por 24 horas, el cual no fue exitoso, mientras que el testigo mostró 1% de capacidad germinativa.

- Temporada 2014-2015

El análisis de semillas de la temporada 2014-2015 (Cabello, 2015a) fue desarrollado por el Jardín Botánico Chagual, en donde las determinaciones físicas realizadas fueron Pureza (%), Número de semillas/kg, Viabilidad (%) mediante ensayo de corte, y Contenido de humedad (%). El secado de las semillas para determinar el contenido de humedad se realizó a 105°C durante 17 h en una estufa de aire forzado, de acuerdo con las prescripciones de las Reglas Internacionales Para Ensayos de Semillas (INSP, 1977).

Cuadro 8. Determinación de Pureza, número de semillas por kilo (NSK), porcentaje de viabilidad y contenido de humedad (CH), en algunas especies estudiadas, para la temporada 2015.

Especie	Sector	Determinación			
		Pureza %	Nº semillas/kg	Viabilidad %	CH %
<i>Berberis empetrifolia</i>	YESO	35,26	156.049	96	10,37
	VOLCÁN	42,46	131.368	94	10,65
		38,04			
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	YESO	95,43	388.874	4	7,97
		91,31	479.260	2	7,64
		94,71	369.457	1	7,7
		94,51	324.615	1	7,55
	VOLCÁN	97,05	444.730	2	4,28
		74,66	514.077	0	7,12
<i>Ephedra chilensis</i>	YESO	21,52	115.794	23	9,10
		22,46	110.116	80	9,6
		22,62			
		99,5	119.699	41	10,28
	VOLCÁN	22,8	166.764	35	11,2
		28,63			
		26,45	146.904	1	10,51
<i>Kageneckia angustifolia</i>	COLORADO	58,6	195.958	98	8,45
		99,63	189.461	95	7,26
	YESO	99,42	146.431	93	7,04
	VOLCÁN	97,52	225.854	85	6,91
<i>Porlieria chilensis</i>	COLORADO	43,77	17.348	72	9,25
		39,31			
		30,32	13.195	66	10,9
		98,53	19.237	53	7,1
<i>Tetraglochin alatum</i>	COLORADO	85,03	148.250	55	8,75
	YESO	54,66	154.900	4	8,78
		82,34	123.720	56	8,13

Fuente: Cabello (2015a).

El detalle de los tratamientos pregerminativos y valores de capacidad germinativa se encuentran en el anexo II,

- Temporada 2015-2016

Durante la temporada 2015-2016 (Servicios Integrales San José, 2016) se realizó un análisis de pureza, número de semilla por kilo, viabilidad y germinación. Nuevamente los análisis fueron realizados bajo la norma ISTA y fue realizado en las dependencias del Vivero Alto Maipo. Las muestras fueron almacenadas de 6 a 8 °C.

En esta oportunidad, *K. angustifolia* obtuvo mayor viabilidad que otras especies, como se puede apreciar en el cuadro 9.

Cuadro 9. Determinación de Pureza, número de semillas por kilo (NSK) y porcentaje de viabilidad en algunas especies estudiadas, para la temporada 2015-2016.

Especie	Sector	Pureza (%)	N° semillas/kg	Viabilidad (%)
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Yeso	98	178,444	94
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Yeso	99	153,899	100
<i>Berberis empetrifolia</i>	El Volcán	100	137,372	98
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	El Volcán	98	451,773	7
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	El Volcán	97	402,982	9
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	El Yeso	29	143,394	No Realizado
<i>Ephedra chilensis</i>	El Volcán	100	74,327	No Realizado
<i>Ephedra chilensis</i>	El Yeso	100	87,321	90
<i>Ephedra chilensis</i>	El Yeso	100	82,776	94
<i>Ephedra chilensis</i>	El Yeso	99	80,381	99
<i>Ephedra chilensis</i>	El Colorado	99	178,643	0
<i>Kageneckia angustifolia</i>	El Colorado	100	136,036	92
<i>Kageneckia angustifolia</i>	El Volcán	100	175,917	95
<i>Kageneckia angustifolia</i>	El Yeso	100	168,933	93
<i>Porlieria chilensis</i>	El Colorado	99	17,281	83
<i>Tetraglochin alatum</i>	El Colorado	97	174,84	22
<i>Tetraglochin alatum</i>	El Volcán	97	81,84	64
<i>Tetraglochin alatum</i>	El Volcán	99	86,728	63
<i>Tetraglochin alatum</i>	El Yeso	99	77,997	68

Fuente: Servicios Integrales San José (2016).

Los ensayos de germinación se realizaron a temperatura ambiente en un principio, luego fueron llevados a una cámara de germinación. Frangel presenta valores favorables de porcentaje de germinación, a pesar de no utilizar ningún tratamiento pregerminativo, siendo una de las especies con mayor porcentaje entre las especies estudiadas como se puede observar en la figura 13.

Cuadro 10. Determinación del porcentaje de germinación, valor máximo, energía germinativa, periodo de energía en días y días totales del ensayo.

Especie	Sector de Colecta	Tratamiento	Germinación (%)	Valor Máximo	Energía germinativa	Periodo de Energía (Días)	Días totales
Kageneckia angustifolia	El Volcán	Sin estratificación	94,67	10,67	74,67	7	17
Kageneckia angustifolia	El Yeso	Sin estratificación	90,67	9,48	85,33	9	30
Kageneckia angustifolia	El Colorado	Sin estratificación	90,67	9,52	66,67	7	23

Fuente: Servicios Integrales San José (2016).



Figura 12. Promedio de porcentaje de germinación de las especies trabajadas por la empresa.

Fuente: Servicios Integrales San José (2016).

-Observaciones generales respecto a la bibliografía.

Considerando los datos de análisis de semillas, podemos observar que el número de semillas por kilo para *K. angustifolia* se encuentra en relación con lo observado por Donoso y Cabello (1978); Motoki *et al.*, (1998) 147.500 y 294.000 semillas por kilo.

Por otro lado, con respecto a la germinación, Gutiérrez *et al.*, (2013) comenta que en ensayos realizados por el Instituto Forestal (INFOR) las diferencias entre los tratamientos de remojo por 1 día y 4 días, no son significativas, sin embargo, los resultados obtenidos son superiores en el tratamiento de 4 días como se observa en la figura 14, resultado que se corrobora en los

estudios considerando los resultados de capacidad germinativa en todas las temporadas, en donde se utilizó principalmente como tratamiento el remojo por 24hrs y se obtuvieron resultados favorables (superiores al 80%).

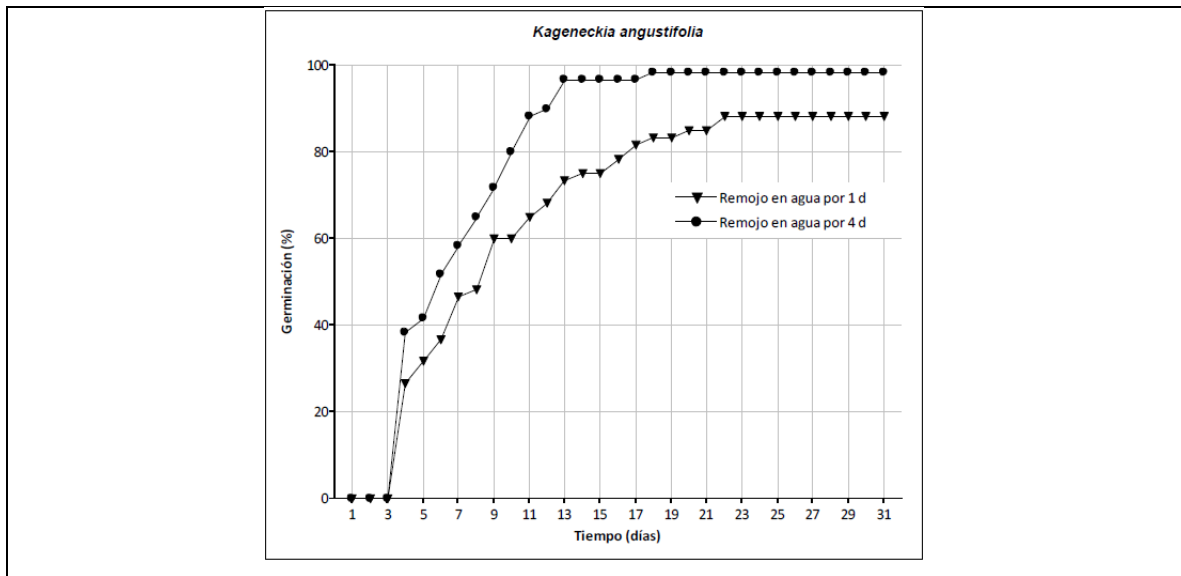


Figura 13. Germinación acumulada de semillas de *Kageneckia angustifolia* remojadas por 1 y 4 días en agua Fuente: Gutiérrez *et al.*, (2013).

La producción de semillas de un árbol individual depende de los atributos de la planta y de los factores medioambientales. Dentro de los primeros podemos encontrar la edad, el desarrollo y vigor de las copas y su estado sanitario, por otro lado, los factores medioambientales afectan en la producción se encuentran relacionados con la luz, temperatura, humedad, precipitaciones, vientos, fertilidad natural del suelo y la presencia o no de insectos polinizadores (Donoso, 1993). Para ello, como indica Gold *et al.* (2004), es necesario contar con un estudio preliminar, debido a que la fenología de las especies varía año a año dependiendo de las fluctuaciones climáticas.

Por otro lado, en un estudio realizado en *Pseudotsuga macrolepis* (Zabala y Mendez, 1996), en donde se pretende identificar factores que afectan a la producción de semillas de esta especie en su ambiente natural, se encuentra que estas se ven afectadas por la polinización insuficiente y el ataque de insectos, los cuales lo asocian a una baja densidad de las poblaciones, la primera debido a que se evita el suministro de polen suficiente y de manera recurrente, pues esto es requerido ante la posible maduración asincrónica de óvulos en conos de *Pseudotsuga*, provocando abortos y semillas vanas, por otro lado el tamaño pequeño de la población hace que aumente el efecto de insectos fitófagos, sin embargo se hace énfasis en que esto no ha sido suficientemente estudiado.

Además, Gold *et al.* (2004) indican una medida que es fácilmente aplicable para el cuidado de los sectores de colecta, corresponde a que se debe tomar no más del 20% de las semillas sanas disponibles al momento de recolección, para asegurar que existan suficientes semillas para regeneración natural.

4.2 Observaciones de terreno

Durante la ejecución de las actividades de levantamiento de datos de prendimientos, se realizó una caracterización visual de los rodales estudiados. Esto permite integrar las observaciones de campo con los reportes generados por la empresa y los resultados de los análisis climatológicos. Como característica general, en todos los rodales se utilizó protección *treeshelter* en todas las plantas y que todos los rodales se encuentran cercados. Las plantaciones están establecidas en núcleos en los cuales en una casilla se encuentran dos ejemplares o más, combinando entre guindilla y frangel. Durante el mes en el que realizaron estas visitas, se encontró gran porcentaje de maleza, el cual era de mayor magnitud en aquellos rodales donde se plantó recientemente (R4, R3, R5 y R2 en menor medida), lo que hacía de alta dificultad observar el prendimiento puesto que algunas casillas se encontraban completamente cubiertas de ellas. También se pudo apreciar erosión por lagomorfos en los mismos rodales mencionados anteriormente, presentando orificios de entre 20 y 30 cm aproximadamente, suceso que también afectó la labor de terreno (levantamiento de prendimiento), debido a la lentitud con la que se lograba avanzar.



Figura 14. Rodales R2 y R4 arriba, abajo a la izquierda registro de erosión por lagomorfos, abajo a la derecha bosque natural adyacente de frangel en rodal R1.

La situación del rodal R1 (año de plantación 2012) es notoriamente distinta a la descrita en los demás rodales, sus principales características son que es el rodal más grande y antiguo de este sector. Los ejemplares presentaban individuos de entre 4 a 5 años. Dentro del rodal

R1 se puede apreciar varios individuos muertos, cercanos a individuos en buen estado, cabe destacar que este rodal está ubicado prácticamente adyacente de bosquetes naturales de frangel, a los cuales no se les ha realizado ningún tipo de evaluación.



Figura 15. Registro fotográfico de la mortalidad de *K. angustifolia* en el rodal R1.

Una situación especial en el rodal R1, corresponde a la instalación posterior de ejemplares de guindilla en casillas en donde originalmente se plantó frangel. Esta acción pudo ocasionar daños en la raíz de la planta que se encontraba en la casilla, ya que como se puede observar en la figura (17) la plantación de algunos ejemplares de guindilla se realizó muy cercana (pocos centímetros) a la de frangel, esto pudo tener origen en que no se consideró el crecimiento de ambas especies o simplemente no se siguió un protocolo claro de cómo realizar esta actividad. Por otro lado, además del daño radicular, es posible que los individuos que no fueron afectados por este motivo más adelante pudiesen ser afectados por la competencia entre ambos ejemplares.



Figura 16. Ejemplares de *K. angustifolia* y *G. trinervis* plantados en núcleo en rodal R1.

Se puede observar que existe un riego tecnificado, que corresponde a un sistema por goteo, el cual es sustentado por estanque conectado a mangueras con dosificador para cada casilla como se puede apreciar en la figura 18



Figura 17. Riego tecnificado implementado registrado en rodal R1.

4.3 Análisis de variables ambientales

A partir del segundo objetivo, que corresponde a la identificación de variables que pueden influir en la sobrevivencia de *K. angustifolia*, se analizaron factores ambientales como el suelo y clima. Se detallarán los resultados de este análisis a continuación.

4.3.1 Análisis de suelo

El análisis de suelo realizado incluye una descripción morfológica y análisis químico y físico cuyo objetivo fue verificar la existencia de limitantes para el crecimiento de las plantas, ya sea a partir de posibles limitantes nutricionales o de características del suelo como la densidad aparente, la textura y comportamiento hídrico del suelo.

4.3.1.1 Descripción morfológica

Como característica general todos los rodales se encuentran en un cono de deyección estabilizado. Por otro lado, no se observa pedregosidad superficial en el pedón 1 de R2, no así, en los pedones restantes R2 y R3 en donde se encuentra entre 0-5 y 2%. En todos los rodales hay presencia de erosión tipo manto en grado ligero, sin embargo, en el pedón 1 se puede apreciar a nivel de micrositio, erosión de túnel en grado ligero por presencia de lagomorfos y roedores. Los pedones de R2 cuentan con buen drenaje, mientras que para R3 el drenaje va de moderado a bien. En cuanto a la capacidad de uso en R2 es de III, mientras que R3 se clasifica en capacidad IV.

Los pedones poseen tres horizontes bien definidos, que varían entre 18 y 30 metros de profundidad en el primer horizonte, siendo el pedón 2 de R2 el más profundo.

Las prácticas de manejo en R2 corresponden a casilla manual en la cual se plantan dos individuos, correspondientes a uno de frangel y otro de guindilla, en R3, por otro lado, corresponde a casilla con retroexcavadora. En ambos casos, las plantas poseen protección *treeshelter*.

4.3.1.2 Análisis químico

Con respecto a la reacción del suelo o pH, los tres pedones poseen valores neutros con algunas tendencias ligeramente ácidas en el pedón de R3, aunque cabe destacar que se presentan en el último horizonte, por lo que este parámetro no sería un impedimento para el desarrollo del vegetal. Por otro lado, los porcentajes de materia orgánica más bajos se vieron en el pedón 1 de R2 con 3,5% en el primer horizonte, mientras que el valor más alto correspondió a R3 con 6,8%, bastante cercano a la muestra compuesta que posee 9,8% de materia orgánica. Cabe destacar que, a pesar de las diferencias en porcentajes, estos siguen siendo adecuados para el establecimiento de plantas.

En cuanto al estado de macronutrientes, existen algunas deficiencias mínimas en potasio en el pedón 1 de R2, respecto de la muestra compuesta, sin embargo, en general se encuentran dentro de un rango esperado, entre el suelo natural (sitio de referencia), donde crece un bosque de *K. angustifolia* y referencias de suficiencia nutricional recomendadas para cultivos agrícolas.

Respecto a los micronutrientes, la cantidad de hierro se encontró levemente disminuida en los pedones 1 y 2 de R2 (37,7 y 36,5 mg/kg respectivamente), en relación con la muestra compuesta (49 mg/kg) del sitio de referencia, mientras que en R3 resulto en 91,9 mg/kg. En caso contrario, las concentraciones de manganeso aumentan en todos los pedones, especialmente en R3 con 45 mg/kg, dejando atrás a la muestra compuesta que arrojo 14,6 mg/kg. El contenido de Zinc, el pedón 1 de R2 presenta una disminución de más de la mitad de lo que se aprecia en la muestra compuesta, sin embargo, respecto a las referencias agronómicas se encuentra adecuado. Por otro lado, el contenido de cobre se encuentra adecuado en todos los pedones, mientras que el Boro se ve disminuido.

Elemento	Contenido Mineral	Número de átomos relativo al Mo
	mg kg ⁻¹ PS	
Micronutriente		
Niquel (Ni)	0.05	1
Molibdeno (Mo)	0.1	1
Cobre (Cu)	6	100
Zinc (Zn)	20	300
Manganeso (Mn)	50	1 000
Hierro (Fe)	100	2 000
Boro (B)	20	2 000
Cloro (Cl)	100	3 000
Macronutriente		
Azufre (S)	1 000	30 000
Fósforo (P)	2 000	60 000
Magnesio (Mg)	2 000	80 000
Calcio (Ca)	5 000	125 000
Potasio (P)	10 000	250 000
Nitrógeno (N)	15 000	1 000 000
Oxígeno (O)	450 000	30 000 000
Carbono (C)	150 000	40 000 000
Hidrógeno (H)	60 000	60 000 000

Figura 18. Niveles de nutrientes adecuados requeridos por los tejidos de plantas (Kyrkby y Römheld, 2007)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la saturación de bases se ven disminuidas en todos los pedones, siendo mayores las pedidas en los pedones de R2, sin embargo, se encuentran dentro del rango óptimo para referencias agrícolas. Aunque cabe destacar que R3 posee los valores más cercanos a la muestra compuesta, inclusive en las concentraciones de cationes intercambiables.

4.3.1.3 Análisis físico

En cuanto a las texturas presentes se observa que los pedones de R2 poseen textura franca en el primer horizonte, mientras que R3 posee una textura franco-arcillosa y arcillosa en las restantes.

El pedón R3 posee la densidad aparente más favorable, con 1,24 gr cm⁻³, mientras que la de los pedones 1 y 2 es de 1,36 y 1,39 gr/cc respectivamente. Por otro lado, la densidad real en

todos los pedones es menor a 2,65, lo cual es un indicador de un alto contenido de materia orgánica.

Donoso (2008) explica que la capacidad de campo ronda entre 5 y 40%, mientras que el punto de marchitez permanente entre 1 y 15%. Por lo que los resultados para este pedón se encuentran dentro del rango, sin embargo, bajos considerando que texturas francas y arcillosas tienen mayor capacidad de retención.

Cuadro 11. Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez permanente (PMP) y Humedad aprovechable (HA), en los primeros horizontes de cada pedón.

Lugar	Profundidad (cm)	CC (%)	PMP (%)	HA (%)
R2 (P1)	0-18	19.9	8.6	11.3
R2 (P2)	0-30	21.5	9.4	12.1
R3	0-18	28.5	13.6	14.9
Bosquete de referencia	---	25	12.9	12.1

Fuente: Martínez y Pinto (2018)

Según Donoso (2008), la porosidad para suelos francos y arcillosos va desde 40 a 60% o más. En el bosque de frangel la porosidad total es de 45%, mientras que la micro y macroporosidad es de 32% y 13% respectivamente.

En el caso del pedón 1 de R2, la porosidad se encuentra en buen estado y poco compacto. La proporción entre micro y macro porosidad es buena, considerando que se espera que la porosidad total se encuentre equilibrada (50% cada uno).

En el pedón 2 de R2, la porosidad se encuentra dentro del rango esperado, respecto de la textura presentada. Se puede observar mayor microporosidad que macroporosidad, esto puede ser debido a cierto grado de compactación.

Por otro lado, en R3 la porosidad total aumenta, lo que favorece a la aireación del suelo. Sin embargo, también aumenta la microporosidad, lo cual, si bien facilita la retención del agua, impide una buena aireación producto de la reducción de macroporos. Según la Universidad de Extremadura (2017) la porción entre micro y microporos debe estar entre 40 a 60% para un buen funcionamiento, en este caso la microporosidad corresponde al 69% en el primer horizonte.

4.3.1.4 Observaciones generales encontradas en terreno.

Se observó al coleccionar las muestras de suelo del bosque natural de frangel, la presencia abundante de hifas de hongos (probablemente micorrizas) en raíces de árboles de estado adulto figura 20. Este hallazgo es relevante, debido a que no se ha estudiado antes la posibilidad de inoculación de plántulas de ninguna de las especies altoandinas en estudio, pudiendo un aspecto clave en su establecimiento.



Figura 19. Presencia de Micorrizas y regeneración natural en Bosquete de *K. angustifolia*. Fuente: Martínez y Pinto (2018).

Por otro lado, durante las prospecciones se registró regeneración de *K. angustifolia*, la cual en visitas posteriores no fue encontrada, lo que podría indicar problemas para el establecimiento de la regeneración natural.

4.3.2 Análisis Hidroclimático

Brevemente recordar objetivo y tipo de análisis

4.3.2.1 Balance hídrico

En el balance hídrico simplificado realizado, no se encuentran tendencias significativas (Mann Kendall P-value >0.05) en los últimos 30 años, lo que quiere decir que no habría variables atribuibles al comportamiento hídrico del lugar. Sin embargo, cabe destacar que el lugar presenta ciclos nivales, los cuales conllevan a entradas al sistema que deberían considerarse en este cálculo, pudiendo influir en el resultado final, debido a que en el análisis de la figura 22 (SWE), se puede apreciar una clara tendencia al descenso de esta entrada. Por otro lado, los resultados finales de cada balance mensual resultan mayoritariamente en déficit, por lo que se sugiere realizar cálculos más exhaustivos respecto de esta variable, dado que un déficit prolongado podría tener serios efectos negativos en prendimientos. Se sugiere además llevar un registro exhaustivo de los programas de riego, de forma de compensar de la manera más precisa posible déficit hídrico en plantación.

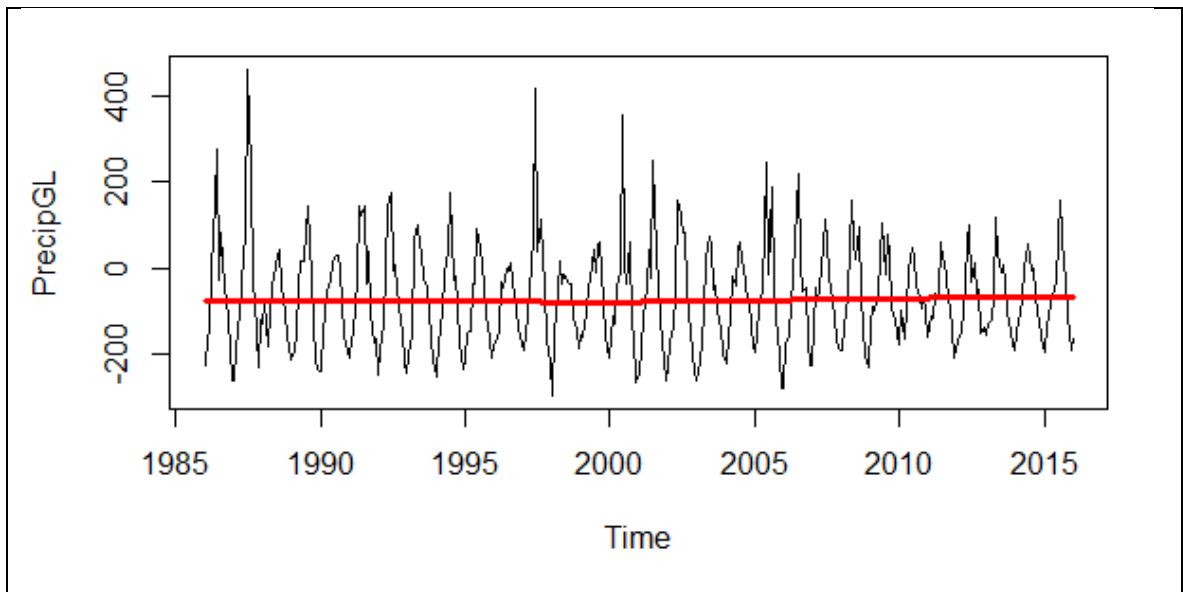


Figura 20. Serie temporal de balance hídrico mensual simplificado desde el año 1986 al 2016.

Análisis de SWE

El análisis a la variable SWE se puede observar una tendencia negativa, lo que quiere decir que en los últimos años podría existir un descenso del almacén nival. Cabe destacar el SWE posee directa relación con el agua que se encuentra disponible en la temporada de deshielo (Cornwell, 2016). Por lo que no considerarlo dentro de un ejemplo de balance hídrico como el realizado anteriormente, podría reflejar cambios en sus resultados.

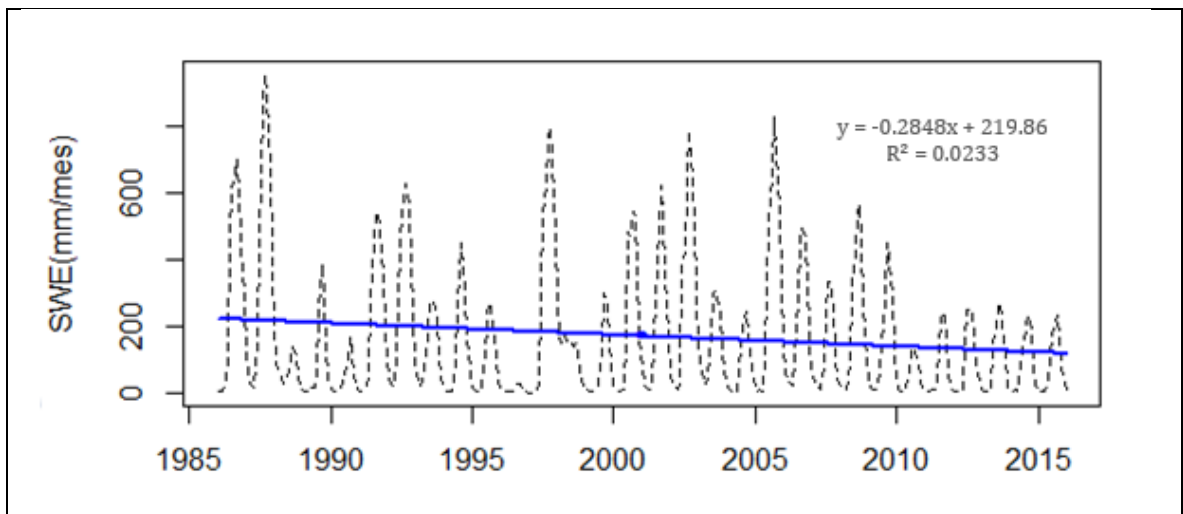


Figura 21. Serie temporal SWE desde el año 1986 al 2016.

Análisis de temporada nival

Se ha observado en varios estudios que uno de los efectos que se atribuyen al calentamiento del clima se encuentra la disminución del tiempo de permanencia de la nieve sobre el suelo en las áreas de alta montaña, con ello se ha observado el registro de retrocesos tanto en

extensión como en intensidad correlacionados de forma significativa con el denominado cambio climático global (García, y Muñoz, 2009). Se demostró que, en ecosistemas alpinos, la vegetación es muy sensible a la cobertura nival, provocando gradientes ambientales, que pueden provocar disminución de la productividad y mortalidad, debido principalmente a la acortada temporada de crecimiento (Billings y Bliss, 1959).

A través del registro del inicio de la temporada nival entre el 2000 y 2018, se puede apreciar una tendencia al retraso (figura 23), es decir la cobertura que antes comenzaba entre marzo y abril, actualmente podría estar presentándose entre finales de mayo y junio.

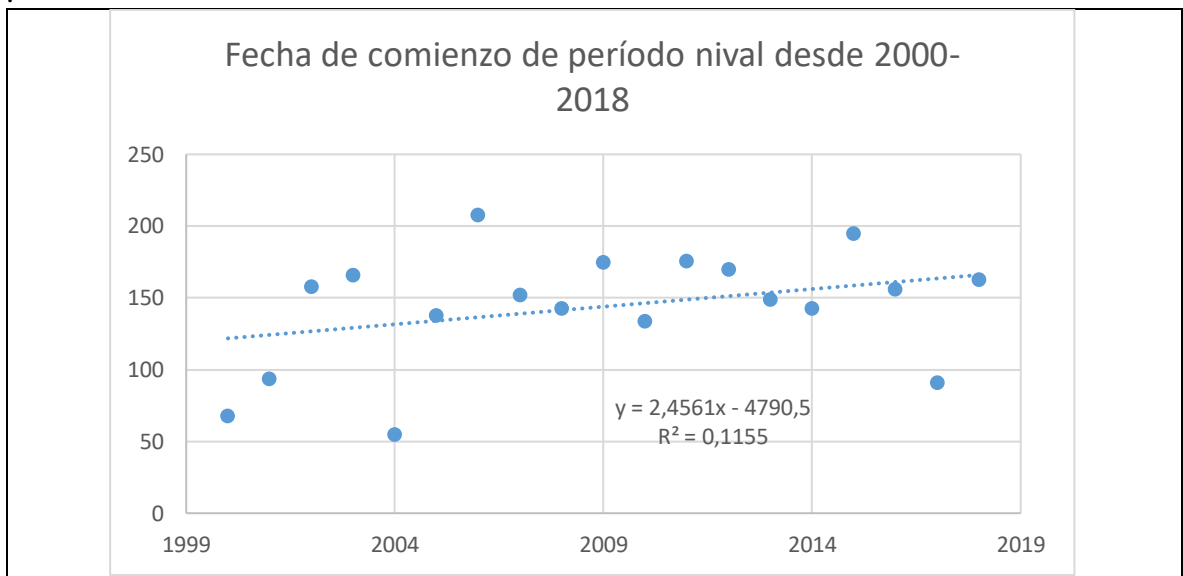


Figura 22. Ajuste lineal simple de fechas de inicio de temporada nival desde el año 2000 al 2018.

Por otro lado, la fecha término de la temporada tiene una leve tendencia a adelantarse (Figura 24), en donde se puede apreciar que el término se encuentra entre septiembre y octubre, pero con algunos años en fin de julio.

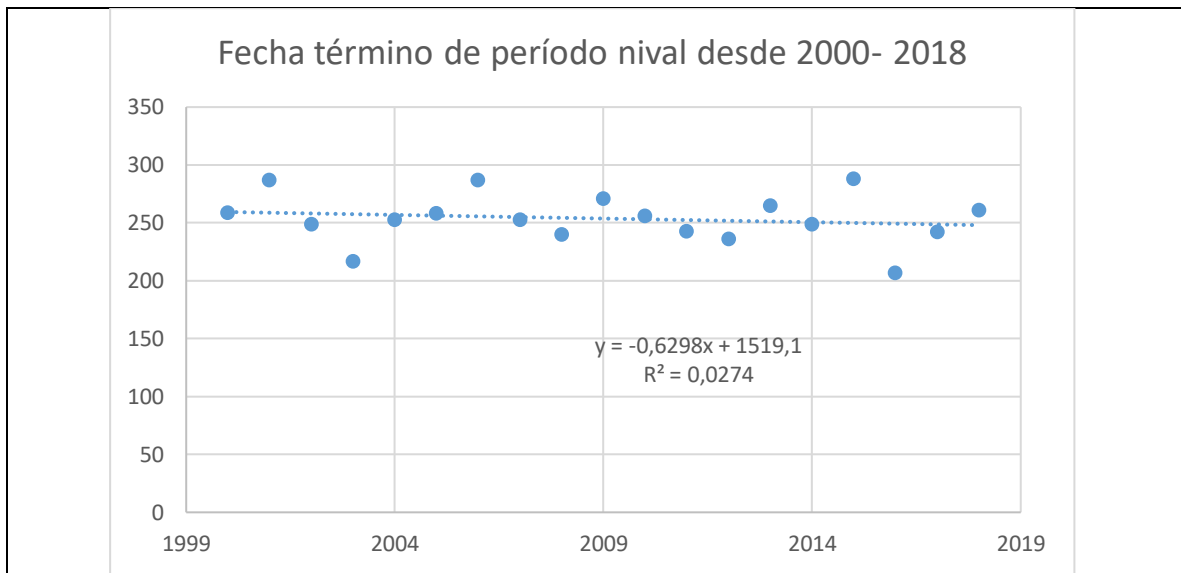


Figura 23. Ajuste lineal simple de fechas de término de la temporada nival desde el año 2000 al 2018.

En cuanto a la duración de los periodos se puede observar que los periodos tienden a ser más cortos, con un promedio total de los datos estudiados de 109 días y una desviación estándar de 44 días.

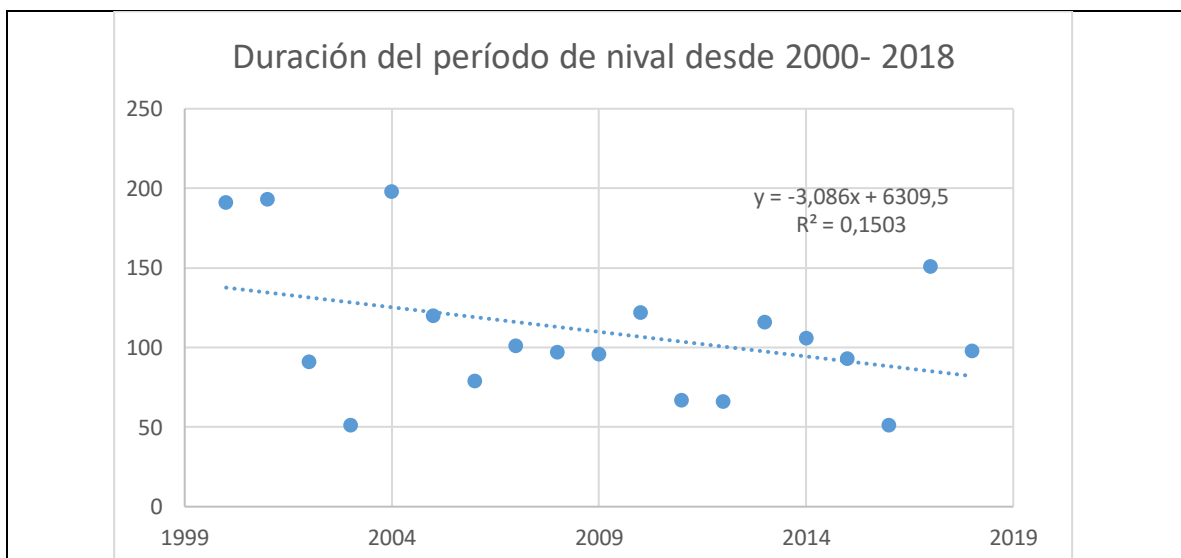


Figura 24. Ajuste lineal simple de la duración de la temporada nival desde el año 2000 al 2018

4.4 Propuesta de acciones que tiendan a mejorar las técnicas de viverización y plantación de la especie de interés

Dado los resultados obtenidos y las observaciones realizadas en campo, se proponen las siguientes acciones para mejorar las técnicas de viverización y plantación de frangel.

Para el mejoramiento de la calidad de plantas se propone desarrollar un ensayo de micorrización para la especie *K. angustifolia*, dado que se ha encontrado registro de esta relación simbiótica en individuos adultos durante el muestreo de suelos. La relación entre micorrizas y plantas funciona como un sistema de absorción en el suelo que es proporciona beneficios a ambos organismos, para la planta significa mayor disponibilidad de agua y nutrientes, entre otros beneficios como aumento de la resistencia de las plántulas a la sequía, a temperaturas del suelo y valores de pH extremos, a ataques de hongos patógenos, áfidos y nemátodos, y además proporcionan hormonas estimulantes del crecimiento, como auxinas, citoquininas, giberelinas y vitamina B, mientras que para el hongo significa una retribución en azúcares y carbohidratos que le permiten desarrollarse (Ipinza y Serrano, 1982).

Para el mejoramiento de la producción de semillas se propone seguir con las labores de seguimiento de estados fenológicos de las especies a producir en conjunto con medidas que permitan mejorar la calidad de los individuos de cosecha de semillas, tales como evaluaciones sanitarias o la extensión de la exclusión a través de cercos a los lugares de cosecha, con el fin de obtener una buena calidad de semillas y asegurar los requerimientos de cosecha y de que finalmente el proceso de recolección sea más eficiente.

Para el mejoramiento de las plantaciones se recomienda realizar una evaluación a bosques adyacentes a los rodales estudiados, en la búsqueda de determinar el estado en el que se encuentran y poder obtener referencias, tal como se realizó en el análisis de suelo, pero en otras perspectivas como la dinámica de este tipo de bosque mediterráneo altoandino, de manera que sea posible entender las relaciones existentes entre individuos de la misma especie y sus acompañantes como es *Guindilia trinervis*. En este mismo sentido Jordano *et. al.* (2002), hablan sobre la dificultad de capacidad de regeneración en especies leñosas mediterráneas debido a la sequía estival, la herbivoría y las perturbaciones de origen antrópico, además destacan que el conocimiento de la historia natural básica de árboles y arbustos es la clave para tener éxito en restauración.

Por último y en relación con la continuidad de las plantaciones se tiene la hipótesis de una posible disminución de la disponibilidad de agua en plantas y en conjunto con lo observado sobre el riego realizado en terreno, se propone verificar la situación empíricamente en terreno mediante análisis de estrés hídrico. En caso de que la hipótesis sea correcta se propone analizar el sistema de riego, dado que según Martínez y Del Río (2012), comentan que el riego por goteo superficial es un sistema poco eficiente, de alto costo, de poca adaptabilidad, entre otras cosas y que es posible mejorar esta situación al enterrar los emisores, en el documento destacan también otros tipos de sistemas de riegos que podrían evaluarse en las plantaciones de El Durazno.

5 CONCLUSIÓN

Respecto de la revisión de inventarios e informes, se puede indicar que los bajos prendimientos de plantación se observan principalmente en los rodales más antiguos, por lo que es recomendable enfocar mayor esfuerzo en ellos.

Por otro lado, se ha observado que los lugares de colecta están propensos a infecciones de hongos e insectos, al igual que ramoneo, lo cual debilita a los ejemplares y conduce a menor producción de semillas, por lo que se propuso extender el cuidado de estos sitios como se hizo para otras especies.

Con respecto al análisis de suelo se obtuvo que este no es un factor que afecta directamente en la sobrevivencia de los individuos de frangel, al menos en dos de los rodales (R2 y R3), sin embargo, durante las prospecciones se halló material fúngico, correspondiente a hifas de hongos, dentro de un bosque natural de frangel, por lo que se propone estudiar la posibilidad de implementar micorrizas en el cultivo de frangel en vivero posterior plantación.

El balance hídrico calculado arrojó una tendencia al déficit hídrico en la cuenca en la que se encuentran los rodales estudiados de frangel, cabe destacar que este correspondió a un análisis simplificado y se recomienda realizar estudios más atinentes para determinar si las variables utilizadas afectan directamente a los individuos de la especie. En adición a esto, el análisis de SWE y NDSI demuestran que existen deficiencias en cuanto la cantidad de agua disponible de nieve y los periodos en los que se presenta esta, estas variables deben ser tomadas en cuenta, pues esto ha demostrado cambios tanto en la reserva de agua contenida en la nieve como los períodos en los que se producen estos ciclos, los cuales estarían relacionados con la mortalidad de individuos de regeneración tanto natural como de individuos plantados. Respecto de estos resultados se propuso evaluar el sistema de riego actual, además que dada la existencia de un déficit y cambios en los periodos nivales actuales podrían implicar una temporada de sequía más prolongada, teniéndose que reevaluar las fechas en las que se realiza la actividad de riego.

Finalmente, se insta a realizar más estudios sobre esta especie, tanto su dinámica natural como de su regeneración artificial, dado que es muy difícil desarrollar planes de compensación, sin tener la información adecuada y suficiente para estos fines. Este problema impide el desarrollo eficiente de la restauración, situación en la que se encuentran gran parte de las especies altoandinas mediterráneas de la zona central de Chile entre ellas frangel.

6 BIBLIOGRAFÍA

- +MG. 2014. Informe Final de Actividades: Ejecución de Colecta de Semillas Temporada 2013-2014. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. San José de Maipo. Región Metropolitana. Chile.
- AESGENER. 2018a. Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (SIC- Chile). [en línea] <<http://www.aesgener.cl/Paginas/Proyectos-en-Construccion.aspx>> [Consulta: 28 de mayo 2018].
- AESGENER. 2018c. Vivero Alto Maipo. [en línea]. < <http://www.altomaipo.com/beneficios-comunidad/Vivero%20Alto%20Maipo/Paginas/default.aspx> > [Consulta: 25 de mayo 2018].
- ÁLVAREZ-GARRETON, C.; MENDOZA, P. A.; BOISIER, J. P.; ADDOR, N.; GALLEGUILLOS, M.; ZAMBRANO-BIGIARINI, M. y AYALA, A. 2018. The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies-Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5817-5846 pp.
- Billings, W. y Bliss, L. 1959. An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity. *Ecology*, 40(3). 388-397pp.
- CANTOR, D. 2011. Evaluación y Análisis Espaciotemporal de Tendencias de largo plazo en la Hidroclimatología colombiana. Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Sede Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 83p.
- CARTES, M. 2009. Pronóstico de volúmenes de deshielos mediante redes neuronales recurrentes e imágenes satelitales MODIS. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Departamento De Ingeniería Civil. Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas. Universidad de Chile. 136p
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA Y APLICACIONES FORESTALES (CREAF). 2017. Indexs: Programa para calcular índices de vegetación, nieve, agua, etc. [en línea]. < <http://www.creaf.uab.es/miramon/help/spa/msa/indexs.htm> > [Consulta: 15 de diciembre 2018].
- COMISION REGIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 2009. Resolución Exenta N°256/09. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. República de Chile. 85p.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2008. Ley sobre Recuperación del Bosque nativo y fomento forestal. Ley N° 20.283. Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile. 92p.
- DONOSO, C. 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 483p
- DONOSO, C. 2008. Ecología Forestal, El Bosque y su Medio ambiente. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 368pp.

DONOSO, C. Y CABELLO, A. 1978. Antecedentes Fenológicos y de Germinación de Especies Leñosas Chilenas. Ciencias Forestales. Vol 1. N° (2).

EARTH OBSERVING SISTEM (EOS). 2019. NDSI. [en línea] <<https://eos.com/ndsi/>> [consulta: 15 de diciembre 2018].

GARCÍA, A. y MUÑOZ, J. 2010. Modificaciones recientes de la cubierta nival y evolución de la vegetación supraforestal en la Sierra de Guadarrama, España: el Puerto de los Neveros. Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters. España. Universidad de la Rioja. (36). 109-144 pp.

GOLD, K.; LEÓN-LOBOS, P. Y WAY, M. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. Boletín INIA N° 110, 62 p.

GUTIÉRREZ, B.; GACITÚA, S.; PERRET, S.; SANDOVAL, A y CURIMIL, M. 2013. Propagación de especies forestales nativas de las zonas áridas y semiáridas de Chile. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal. Chile. 138p.

HALL, D. K.; SALOMONSON, V Y RIGGS. G. 2016. MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid. Version 6. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.

HERNÁNDEZ JH. 2011. Procesamiento digital de imágenes. Apunte de Clases. Actualización del capítulo "Percepción Remota" publicado en el libro "Manejo y Conservación de Recursos Forestales" en 2007 (Eds. Hernández. De la Maza y Estades). 38p.

INSP, 1977. Reglas Internacionales Para Ensayos de Semillas. Madrid. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. 184 p.

IPINZA, R. y SERRANO, M. 1982. Micorrización artificial sobre pino insigne en la Estación Experimental Pantanillo-Las Brisas (VII Región). Esc. de Cs. Forestales. Univ. de Chile. Ciencias Forestales v. 2. n. 2. 77-93pp.

JORDANO, P.; ZAMORA, R.; MARAÑÓN, T. y ARROYO, J. (2002). Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo: aspectos demográficos, ecofisiológicos y genéticos. Ecosistemas. Revista de divulgación científica y técnica de ecología y medio ambiente. Año XI, N°1.12p.

KIRKBY, E. Y RÖMHELD, V. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Versión en español. The International Fertilizer Society. United Kingdom

LÓPEZ, M.; SEOANE, R.; FORNERO, L.; RODRÍGUEZ, J. y NUÑEZ, M. (2007). Análisis de tendencia en series autocorrelacionadas. Instituto Nacional del Agua. XXI Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina. 8p.

MARTÍNEZ, A. Y DEL RÍO, J. (2012) Los riegos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales. Revista Foresta. N° 54, págs. 32-44pp.

- MARTINEZ, E. y PINTO, V. 2018. Informe de servicio: Análisis del suelo de plantaciones de frangel en sector El Durazno. Centro Productor de Semillas de Árboles Forestales (CESAF). Universidad de Chile. 28p
- MINISTERIO DE ENERGIA (MINENERGÍA). 2015. Política Energética 2050. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. 152 p.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. 2018. Ficha de antecedentes de la especie “Kageneckia angustifolia”. [en línea] < http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/fichas8proceso/fichas_finales/Kageneckia_angustifolia_P08_corregida.pdf> [consulta: 29 de marzo 2018].
- MOTOKI, T.; WILLIAMS, E.; SCHENK, J.; ALVARADO, M. y GREAU, M. 1998. Monografías de Especies para la Forestación en la Zona Semiárida de Chile. Proyecto Cuencas CONAF-JICA. Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas de la Zona Semiárida de Chile. Santiago. 52 p.
- PLATAFORMA URBANA. 2019. Infografía Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo. [en línea]. <<http://www.plataformaurbana.cl/archive/2012/02/13/hidroelectrica-alto-maipo-entro-en-construccion-%C2%BFque-pasara-con-el-rio/>> [consulta: 15 de mayo 2019].
- SERVICIOS INTEGRALES SAN JOSÉ. 2015. Informe final de la colecta y limpieza de semillas para el Proyecto Central de pasada Alto Maipo. San José de Maipo. Región Metropolitana.
- SERVICIOS INTEGRALES SAN JOSÉ. 2016. Informe final de la colecta y limpieza de semillas para el Proyecto Central de pasada Alto Maipo. San José de Maipo. Región Metropolitana.
- UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. 2017. Edafología. Ciencias Ambientales. Lección 5 Propiedades del suelo. Propiedades físicas. Porosidad. [En Línea:] < <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PFPorosidad.htm> > [Consultado: 12/12/2018].
- VARGAS, J.; DE LA FUENTE, L. y ARUMÍ, J. 2012. Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: aplicación de un modelo parsimonioso. Obras y Proyectos 12, 32-41.
- ZAVALA, F. y MÉNDEZ, J. (1996). Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. Acta Botánica Mexicana, (36). 14p.

7 ANEXOS

Anexo I. Determinación de número de semillas por kilos (NSK), contenido de humedad (CH), viabilidad, capacidad germinativa (CG) y energía germinativa (EG) según tratamiento, para la temporada 2012-2013

Espece	ID	NSK	C. H. (%)	Viabilidad (%)	Tratamientos	C.G. (%)	E.G. (%)
<i>Berberis empetrifolia</i>	178	127,502	16.3	87.5	Remojo agua por 24 h	0	0
					Estratificación fría por 30 días	60	50
					Estratificación fría por 45 días	30	3
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	72	517,598	9.7	12	Testigo	0	0
					Remojo agua por 24 h	0	0
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	214	469,263	11.1	10	Testigo	1	1
					Remojo agua por 24 h	0	0
<i>Kageneckia angustifolia</i>	189	129,279	8,5	98	Testigo	95	36
					Remojo agua por 24 h	96	55
<i>Kageneckia angustifolia</i>	94	164,508	8.4	97	Testigo	86	35
					Remojo agua por 24 h	94	56
<i>Kageneckia angustifolia</i>	132	163,006	8.3	99	Testigo	97	49
					Remojo agua por 24 h	99	49
<i>Kageneckia angustifolia</i>	195	164,629	8.7	99	Testigo	84	66
					Remojo agua por 24 h	91	44
<i>Kageneckia angustifolia</i>	243	175,231	6	100	Testigo	79	72
					Remojo agua por 24 h	67	46
<i>Kageneckia angustifolia</i>	183	124,618	8.9	85.4	Testigo	60	52
					Remojo agua por 24 h	62	42
<i>Kageneckia angustifolia</i>	210	121,337	8.1	94.5	Testigo	95	54
					Remojo agua por 24 h	90	49
<i>Kageneckia angustifolia</i>	165	138,141	8.4	95	Testigo	93	86
					Remojo agua por 24 h	100	34
<i>Porlieria chilensis</i>	43	11,568	12.3	89	Remojo en GA3 400 ppm	10	10
					Remojo en agua y estratificación fría x 30 días	5	4
					Remojo en agua y estratificación fría x 45 días	4	4
<i>Porlieria chilensis</i>	36	14,686	11.9	95	Remojo en GA3 400 ppm	2	2

					Remojo en agua y estratificación fría x 30 días	0	0
					Remojo en agua y estratificación fría x 45 días	0	0
<i>Tetraglochin alatum</i>	73	76,671	8.6	67.5	Testigo	62	53
					Remojo agua por 24 h + luz diaria	48	18
<i>Tetraglochin alatum</i>	191	155,842	5.6	27	Testigo	2	2
					Remojo agua 24 h+luz diaria (hundidas)	0	0
					Remojo agua 24 h+luz diaria (flotadas)	1	1
<i>Tetraglochin alatum</i>	252	122,643	8.1	40	Testigo	0	0
					Remojo agua por 24 h + luz diaria	0	0
<i>Tetraglochin alatum</i>	171	110,708	7	40	Testigo	32	17
					Remojo agua 24 h+luz diaria (hundidas)	0	0
					Remojo agua 24 h+luz diaria (flotadas)	28	11
<i>Tetraglochin alatum</i>	209	151,057	5.5	51	Testigo	2	2
					Remojo agua 24 h+luz diaria (hundidas)	0	0
					Remojo agua 24 h+luz diaria (flotadas)	1	1
<i>Tetraglochin alatum</i>	187	139,179	8.3	60	Testigo	33	25
					Remojo agua 24 h+luz diaria (hundidas)	0	0
					Remojo agua 24 h+luz diaria (flotadas)	45	45

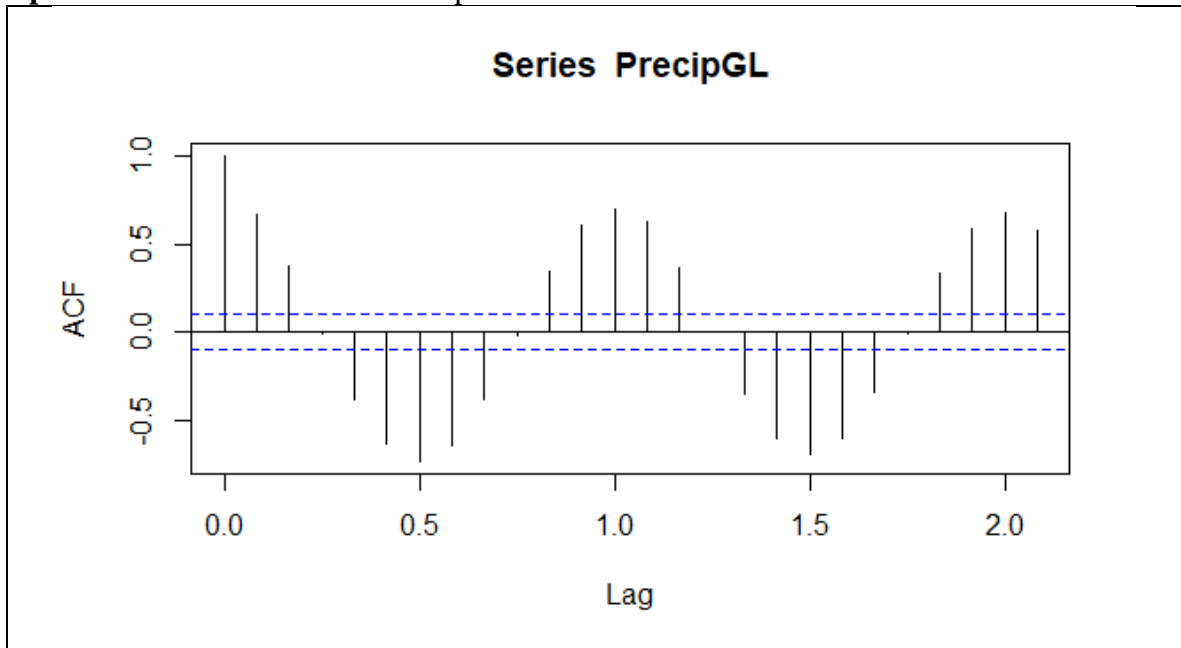
Anexo II Determinación de Capacidad germinativa (CG), Energía Germinativa (EG), Periodo de Energía (PE), Semillas Muertas (M), Semillas Vanas Va), y Semillas Vivas (Vi) en el período 2015.

Especie	Sector	Tratamiento	Determinación			Ensayo de Corte			Germinación durante el Tratamiento (%)
			CG %	EG %	PE días	M	Va	Vi	
<i>Berberis empetrifolia</i>	YESO	R 24 h	1,33	1,33	8	12	2,67	84	0
	VOLCÁN	EF 30 d	2,67	2,67	8,67	13,33	1,33	82,67	0
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	YESO	-	Viabilidad 4 % No se realizó ensayo de germinación						-
	VOLCÁN	-	Viabilidad 2 % No se realizó ensayo de germinación						-
<i>Ephedra chilensis</i>	COLORADO	R 24 h	4	4	8	0	96	0	0
		EF 30 d	12	-	-	6,67	81,33	0	10,67
	YESO	R 24 h	22,67	14,67	8	8	68	1,33	0
		EF 30 d	17,33	-	-	12	70,67	0	1,33
		R 24 h	54,67	50,67	18	2,67	29,33	13,33	0
		EF 30 d	52	-	-	1,33	46,67	0	4
		R 24 h	10,67	5,33	1,67	22,67	66,67	0	0
		EF 30 d	18,67	-	-	41,33	40	0	6,67
VOLCÁN	R 24 h	9,33	4	10	0	90,67	0	0	
	EF 30 d	5,33	-	-	0	94,67	0	4	
<i>Kageneckia angustifolia</i>	COLORADO	R 24 h	96	23,67	62,67	3	4	0	0
		R 24 h	97,33	26,89	62,67	2,33	2,67	0	0
	YESO	R 24 h	94,67	18,67	38,67	2	4	1,33	0
	VOLCÁN	R 24 h	86,67	24,44	73,33	3	8	5,33	0
<i>Porlieria chilensis</i>	COLORADO	R 24 h	62,67	52	22	13,33	9,33	14,67	0
		EF 60 d	60	30,67	6	20	5,33	14,67	0
		R 24 h	30,67	30,67	26,33	30,67	32	6,67	0
		EF 60 d	52	-	-	14,67	9,33	24	2,67
		R 24 h	62,67	54,67	15,67	22,67	8	6,67	0
		EF 60 d	61,33	41,33	5	12	6,67	20	0
<i>Tetraglochin alatum</i>	COLORADO	R 24 h	2,67	2,67	6	44	53,33	0	0
		EF 30 d	1,33	0	0	32	65,33	1,33	1,33
	YESO	R 24 h	40	28	9	12	48	0	0
		EF 30 d	37,33	-	-	10,67	52	0	24

8 APÉNDICES

I Mann Kendall

Apéndice I. Autocorrelacion serie preciitaciones.



Apéndice II. Resultado Mann-Kendall serie de tiempo precipitaciones.

```
> MannKendall(PrecipGL)
tau = 0.0113, 2-sided pvalue =0.74835
```

Apéndice III. Bootstrap para serie de tiempo de precipitaciones historicas en cuenca

```
BLOCK BOOTSTRAP FOR TIME SERIES

Fixed Block Length of 5

Call:
tsboot(tseries = PrecipGL, statistic = MKtau, R = 500, l = 5,
       sim = "fixed")

Bootstrap Statistics :
  original    bias    std. error
t1* 0.2645801 -0.2599428 0.09180901
```