



Chile  
en marcha



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



Laboratorio  
De Ecología  
De Paisaje



## **“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN DE LA ESPECIE GOMORTEGA KEULE E IDENTIFICACIÓN DEL GRADO DE AMENAZA EN LAS REGIONES DE MAULE, ÑUBLE Y BIOBÍO”**

### **I. RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio se ha elaborado con el fin de responder a la necesidad de conservar la especie *Gomortega keule* en su rango de distribución natural, que abarca las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. La especie se ha visto afectada debido a las fuertes presiones antropicas sobre su hábitat, como el cambio de uso de suelo (sustitución de bosque nativo), la degradación del bosque nativo por la tala ilegal e incendios forestales y la explotación excesiva de leña y fruto entre otros. Además, ciertos factores ambientales y bióticos también han tenido un impacto negativo sobre la especie como la presencia de especies invasoras, la disminución en las precipitaciones, el aumento de temperatura y la escasez de polinizadores.

El presente informe tiene por objetivo presentar todos los resultados de prospección y análisis genéticos obtenidos durante el período 2019-2020. Con respecto al estudio de prospección, se visitó un total de 48 puntos de presencia, de ellos se obtuvieron datos de 36 puntos, es decir en 12 puntos visitados no se encontró la especie y fueron eliminados de la base de datos oficial. Con toda la información recopilada se logró caracterizar el rango de condiciones del hábitat en la cual se encuentra la especie actualmente e identificar las amenazas de los sitios visitados. Por último, se realizó la jerarquización de las amenazas por cada punto de presencia visitado (población local) y se incorporó el estado de degradación de los sitios más amenazados (quintil superior), para proponer las estrategias de conservación a corto, mediano y largo plazo.

Para el análisis genético se contaba con información de 855 puntos de presencia de *G. keule*, los que fueron sometidos a un análisis de estratificación ambiental. Este análisis permitió seleccionar 40 localidades, con 123 puntos de muestreo en total, pertenecientes a los distintos estratos ambientales obtenidos, de los cuales se seleccionarán 96 para la secuenciación y posterior determinación de la genómica poblacional de *G. keule*. Estos puntos fueron visitados para la recolección de hojas apicales de 2 a 3 individuos por localidad. Durante el muestreo se incorporaron nuevos puntos de presencia que al incluirlos en el análisis de clusterización ambiental se obtuvieron 5 estratos ambientales. *G. keule* está actualmente estructurada genéticamente en tres poblaciones o linajes ancestrales cuyos límites geográficos aproximados son el Río Maule y el Río Biobío. Dichos límites deben ser cuidadosamente respetados cuando se trata de translocación de materiales reproductivos como por ejemplo semillas y plantas.



Chile  
en marcha



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



Laboratorio  
De Ecología  
De Paisaje



LEV  
Laboratorio de Ingeniería Ambiental

## II. INDICE GENERAL

V. INTRODUCCIÓN.....	8
VI. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Actividades asociadas a los objetivos específicos.....	9
VII. METODOLOGÍA.....	10
7.1 Diseño ficha de prospección.....	10
7.2 Definición de los puntos de muestreo.....	11
Identificación de subpoblaciones.....	11
Criterios para la selección de puntos a visitar.....	11
Priorización de puntos de prospección.....	11
7.3 Jerarquización de Amenazas.....	12
7.4 Análisis superficie de <i>G. keule</i> afectada por incendios forestales.....	12
7.5 Análisis de superficie efectiva para restauración.....	13
7.6 Análisis de amenazas y propuesta de acciones de conservación.....	13
Preparación de los datos.....	14
Priorización espacial.....	15
Análisis de la priorización.....	16
Propuesta de acciones de conservación.....	16
7.7 Diseño de muestreo para análisis genético.....	16
7.8 Optimización extracción de ADN de <i>G. keule</i> .....	17
Etapa 1.....	17
Etapa 2.....	17
7.9 Puesta a punto secuenciación.....	18
7.10 Genotipificación de SNPs usando GBS.....	18
Detección de loci putativamente bajo selección.....	19
Estructura genética de <i>G. keule</i> .....	19
Determinación de la diversidad genética de <i>G. keule</i> .....	19
Visualización de variación genética-ambiental.....	19
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
8.1 Ficha de prospección 1.....	21
8.2 Definición de puntos de muestreo.....	23
Identificación de subpoblaciones.....	23

Priorización de puntos de prospección para análisis poblacional .....	25
Validación ficha de prospección en terreno.....	27
8.3. Puntos prospectados .....	27
8.4 Caracterización de las subpoblaciones .....	32
1. Subpoblación N° 4: Dichato- Tomé-Lirquén.....	32
2. Subpoblación_10: Tumbes .....	35
3. Subpoblación_12: Desembocadura Rio Biobío .....	38
4. Subpoblación N° 6: Quile.....	40
5. Subpoblación N° 18: El Carmín .....	43
7. Subpoblación N° 16: Caramavida 1.....	45
8. Subpoblación N° 1: Caramavida2.....	47
9. Subpoblación N° 5: Quilteu.....	49
10. Subpoblación N° 2: Nonguén .....	53
8.5 Jerarquización de las amenazas (Estándares abiertos).....	55
1. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen_4: PP_9.....	55
2. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen_4: PP_50.....	56
3. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen_4: PP_53.....	56
4. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen_4: PP_48.....	57
5. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén_4: PP_55.....	57
6. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén_4: PP_54.....	58
7. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén_4: PP_49.....	58
8. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén_4: PP_56.....	59
9. Subpoblación Quile_6: PP_57.....	59
10. Subpoblación Quile_6: PP_8.....	60
11. Subpoblación Quile_6: PP_10.....	60
12. Subpoblación Quile_6: PP_24.....	61
13. Subpoblación Quile_6: PP_62.....	61
14. Subpoblación Quile_6: PP_11.....	62
15. Subpoblación Quile_6: PP_64.....	62
16. Subpoblación Buena Esperanza_17: PP_52 .....	63
17. Subpoblación Tumbes_10: PP_33.....	63
18. Subpoblación Tumbes_10: PP_58.....	64
19. Subpoblación Tumbes_10: PP_59.....	64
20. Subpoblación Tumbes_10: PP_60.....	65
21. Subpoblación Tumbes_10: PP_61.....	65
22. Subpoblación Desembocadura_12: PP_25 .....	66
23. Subpoblación Caramavida1_16: PP_37.....	66

24. Subpoblación Caramavida1_16: PP_65.....	67
25. Subpoblación Caramavida1_16: PP_66.....	67
26. Subpoblación Caramavida1_16: PP_67.....	68
27. Subpoblación Caramavida2_1: PP_68.....	68
28. Subpoblación El Carmín_18: PP_63 .....	69
8.5.1 Superficie con <i>G. keule</i> afectadas por incendio .....	70
8.5.2 Análisis de amenazas .....	71
Selección y ponderación de criterios .....	71
Priorización espacial .....	72
8.6. Propuesta de acciones de conservación.....	75
Propuestas a corto, mediano y largo plazo.....	78
Estrategias de manejo a corto plazo: Tomé_3 .....	78
Estrategias de manejo a mediano plazo: Tomé_3.....	80
Estrategias de manejo a largo plazo: Tomé_3 .....	81
Estrategias de manejo a corto plazo: Tomé_2 .....	82
Estrategias de manejo a mediano plazo: Tomé_2.....	84
Estrategias de manejo a largo plazo: Tomé_2 .....	85
Estrategia de manejo a corto plazo: Nonguén 1.....	86
Estrategia de manejo a mediano plazo: Nonguén 1 .....	88
Estrategia de manejo a largo plazo: Nonguén 1.....	89
Estrategia de manejo a corto plazo: El Carmín.....	90
Estrategias de manejo a mediano plazo: El Carmín.....	92
Estrategias de manejo a largo plazo: El Carmín .....	93
Estrategias de manejo a corto plazo sitio: Buena Esperanza.....	95
Estrategias de manejo a mediano plazo: Buena esperanza.....	96
Estrategias de manejo a largo plazo: Buena esperanza .....	97
Estrategias de manejo a corto plazo sitio Tumbes_1 .....	98
Estrategias de manejo a mediano plazo Tumbes_1.....	100
Estrategias de manejo a largo plazo: Tumbes_1.....	101
Estrategias de manejo a corto plazo sitio Frutillares_1.....	102
Estrategias de manejo a mediano plazo: Frutillares_1 .....	104
Estrategias de manejo a largo plazo: Frutillares_1 .....	105
9. Diseño muestreo para análisis genético.....	106
9.1 Extracción de ADN.....	107
Estandarización extracción ADN masiva (en placa) de <i>G. keule</i> .....	107
Estandarización extracción ADN masiva (en placa) de <i>G. keule</i> .....	109
9.2 Puntos genéticos muestreados.....	111

9.3 Puesta a punto secuenciación .....	114
9.4 Genotipificación de SNPs usando GBS.....	115
9.5 Determinación de diversidad genética.....	116
Estructura genética poblacional de <i>G. keule</i> .....	117
Número de poblaciones ancestrales.....	120
Visualización de variación genética-ambiental.....	122
CONCLUSIONES .....	125
IX. FUTUROS PASOS.....	126
X. REFERENCIAS .....	127
ANEXOS .....	129
Anexo 1. Ficha de prospección 2 .....	129
Anexo 2. Instructivo para determinar los tipos de muestreo y uso de fichas .....	130
Anexo 3. Extracción de ADN de 22 individuos, utilizando distintos tipos de tejido .....	130
Anexo 4. Procedimiento de toma de muestra de <i>G. keule</i> para análisis genéticos .....	132
Anexo 5. Cladograma de estratos ambientales identificados de los puntos visitados de <i>G. keule</i> . .....	133

### III. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso del diseño de la ficha de prospección 1 para la especie Gomortega keule. ....	10
Figura 2. Representación esquemática de la metodología alpha hull. Las líneas representan la triangulación de Delaunay. Cuando el valor de “alpha” es menor que las líneas punteadas, entonces se generan dos subpoblaciones. Extraído de Rivers et al. (2010). ....	11
Figura 3. Esquema de priorización de puntos a prospectar en terreno para análisis poblacional y genético de <i>G. keule</i> . ....	12
Figura 4. Representación esquemática de las etapas de la planificación sistemática para la conservación de <i>G. keule</i> (Adaptado de Lehtomaki et al. 2013). En verde se muestran los pasos de la planificación que no están contemplados en este estudio. La jerarquización de las subpoblaciones más amenazadas considera información a diferentes escalas espaciales y las propuestas de acciones de conservación están orientadas a atender esas amenazas. Una vez implementadas las acciones de conservación es necesario monitorear sus resultados y de ser necesario, plantear nuevos objetivos de conservación. ....	13
Figura 5. Ejemplo de encuesta para el análisis de jerarquías analíticas de los indicadores a escala de paisaje. ....	15
Figura 6. Diagrama de pipeline utilizado para el análisis GBS mediante ipyrad. Modificado de <a href="https://radcamp.github.io/Yale2019/">https://radcamp.github.io/Yale2019/</a> .....	18
Figura 7. Ficha de prospección 1 y metadata con la descripción de los antecedentes.....	22
Figura 8. Subpoblaciones identificadas según el método de alpha hull (polígonos oliva). Puntos amarillos corresponden a puntos de presencia donde el LEP ya tiene información poblacional. Puntos rojos corresponden a puntos con más de 10 años de antigüedad. Puntos verdes corresponden a aquellos puntos de presencia aportados por el Ministerio de Medio Ambiente y la FAO. Puntos azules	

corresponden a los puntos de presencia con los que ya contaba el LEP. La Línea negra continua corresponde a la Extensión de la presencia de *G. keule*.....23

Figura 9. Áreas propuestas a visitar (círculos negros), subpoblaciones (polígonos oliva) y extensión de la presencia de *G. keule* (Línea negra continua). .....24

Figura 10. Distribución de puntos a prospectar para análisis poblacional y genético de *G. keule* en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. ....26

Figura 11. Resumen de datos estructurales de la población local de *G. keule*. .....27

Figura 12. Distribución de puntos de presencia prospectados a enero 2020 en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. Número indica correlativo de número de presencia en base de dato. Puntos satisfactorios corresponden a puntos cuya presencia se confirma en terreno y además se llena ficha de prospección. Puntos sin presencia corresponden a puntos donde no se constata la presencia de la especie y queda como PAE (Punto aparentemente eliminado). .....29

Figura 13. Extensión de la presencia y área de ocupación para la especie *G. keule* (1 km x 1 km). .30

Figura 14. Nueva distribución de subpoblaciones de *G. keule* identificadas según el método de alpha hull. Polígonos en gris corresponden a la actualización de 10 subpoblaciones a partir de las prospecciones de enero 2020. ....31

Figura 15. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 4. ....32

Figura 16. Germinación de semilla de *G. keule* en el PP\_55. ....34

Figura 17. Antenas ubicadas en el cerro Neuque, Tomé. ....34

Figura 18. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 10. ....35

Figura 19. Imágenes de individuos maduros de *G. keule* en la subpoblación de Tumbes. ....36

Figura 20. Troncos cortados de *G. keule* y la regeneración vegetativa en el PP\_33. ....37

Figura 21. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 12. ....38

Figura 22. Borde del parche de bosque nativo donde se encuentran insertos los individuos de *G. keule*. .....39

Figura 23. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 6. ....40

Figura 24. Individuos adultos de *G. keule* y regeneración en PP\_57 (Quile). Individuos de *G. keule* en sitios degradados en PP\_10 (Salto del Agua) y PP\_8 (Ramadillas). ....42

Figura 25. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 18. ....43

Figura 26. Estratificación vertical en la comunidad con individuos de *G. keule*. ....44

Figura 27. Individuos de *G. keule* en la localidad de Chanco. ....44

Figura 28. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 16. ....45

Figura 29. Bosque mixto (Plantación forestal y bosque nativo) donde se encuentran los individuos de *G. keule* en el PP\_37. ....46

Figura 30. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 1. ....47

Figura 31. Individuos de *G. keule* expuestos a la luz sin protección de especies nativas acompañantes. ....48

Figura 32. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación N° 5. ....49

Figura 33. Ecosistema donde se encuentran insertos los individuos de *G. keule*. (a) individuo de queule y (b) estructura vertical y cobertura del suelo en el punto de presencia 70. ....50

Figura 34. Distintos estados de *G. keule* en los distintos puntos de presencia. (a) Individuo adulto en el PP\_70, (b) Plantula de *G. keule* en PP\_71, (c) Individuo de *G. keule* maduro y aislado y (d) Frutos de individuos de *G. keule* en PP\_73. ....51

Figura 35. Restos leñosos quemados encontrados en el PP\_70 .....52

Figura 36. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación N° 2. ....53

Figura 37. Ecosistema donde se encuentran creciendo los individuos de *G. keule*. (a) Estructura vertical dominado por *C. alba* y *N. obliqua*. (b) Cobertura del suelo. ....54

Figura 38. (a) Individuos adultos y (b) brinzales de *G. keule* en remanente de bosque nativo. ....54

Figura 39. Restos de árboles cortados por acción humana. ....55

Figura 40. Superficie afectada de *G. keule* utilizando la cobertura de incendios 2017 realizada por el LEP. ....70

Figura 41. Mapas de amenaza a escala de paisaje. Cercanía a caminos (1), cercanía a centros poblados (2), cercanía a incendios forestales (3), cercanía a plantaciones (4) y cercanía a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental (5). Tonalidades más azules corresponden a las áreas con mayor amenaza. ....72

Figura 42. Mapa de amenazas a escala de paisaje obtenido mediante la priorización a través de Zonation 4. Tonalidades más naranjas representan zonas con un mayor grado de amenaza.....73

Figura 43. Sitios visitados en terreno pertenecientes al quintil superior de priorización de amenazas (zonation 4) medidas a escala de paisaje y local.....74

Figura 44. Diseño muestreo para análisis genéticos. A) Puntos de presencia de *G. keule*. B) PCA de 19 variables ambientales más altura. PC1 y PC2 explican 45% y 33% de varianza, respectivamente (79% en total). Cada color representa la asignación a los grupos..... 106

Figura 45. Distribución de puntos a prospectar para análisis genéticos en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. En color rojo se indican los puntos que coinciden con los puntos para análisis poblacional y en verde los puntos exclusivos para el análisis genético..... 107

Figura 46. Estado de las hojas de *G. keule* posterior a la colecta de discos para la extracción de ADN. A) Hojas procesadas en terreno. B y C hojas procesadas en laboratorio. ....107

Figura 47. Estado de las muestras posterior a la homogeneización. A) Hojas procesadas en terreno, usando buffer de extracción SL-CTAB y SL-SDS. B) hojas y yemas procesadas en laboratorio, usando buffer de extracción SL-CTAB y SL-SDS. Las yemas fueron homogeneizadas en SL-SDS. .... 108

Figura 48. Visualización de ADN extraídos de hojas y yemas de *G. keule* utilizando distintas condiciones. Electroforesis en gel de agarosa 1% 70V 10 min. MI: 20 ng marcador ADN Lambda; C: buffer SL-CTAB; S: buffer SL-SDS; Y-S: Yema en buffer SL-SDS..... 109

Figura 49. Visualización ADN extraídos de hojas de *G. keule* utilizando distintas condiciones en placa. Electroforesis en gel de agarosa 1% 70V 10 min. M: 20 ng marcador ADN Lambda. Cada condición se probó en duplicado para cada especie..... 110

Figura 50. Estandarización extracción de ADN de *G. keule*. Tipos de tejidos utilizados en la estandarización: A) Ápice fresco (APF); B) Ápice marchito (APS); C) Hoja semiexpandida (SE); E) Hoja expandida (D). E) Visualización ADN extraídos de los tejidos analizados en electroforesis en gel de agarosa 1% 70 V 10 min. F) Concentración de ADN. ML: 20 ng marcador ADN Lambda. Las líneas indican una escala de 1 cm..... 111

Figura 51. Puntos de presencia para análisis genético de *G. keule*. Los puntos azules corresponden a los puntos propuestos originalmente y en naranja los puntos de presencia muestreados para análisis genético..... 112

Figura 52. Puntos genéticos muestreados (A) y Puntos genéticos clasificados por estrato ambiental (B), donde cada color representa el estrato ambiental definido (A, B, C, D y E). .... 113

Figura 53. Electroferograma mostrando el resultado de las librerías genómicas de prueba generadas con los distintos sistemas enzimáticos para GBS disponibles en BCWU en *G. keule*..... 115

Figura 54. Análisis de Componentes Principales de distancia genética entre individuos. A) distancia genética neutral. B) Distancia genética adaptativa. Los círculos representan individuos del grupo genético sur, los triángulos a individuos de grupos genético centro y los cuadrados a individuos del grupo genético norte. Los colores representan los distintos estratos ambientales definidos en la Tabla 10. .... 118

Figura 55. Árbol UPGMA de distancia genética euclidiana entre individuos de *G. keule*. A: Distancia genética neutral. B: Distancia genética adaptativa. Los colores representan los grupos genéticos inferidos por PCA. Azul: grupo norte; Rojo: grupo centro; Verde: grupo sur. El color de letra de las localidades hace referencia al estrato ambiental mostrado en la Tabla 10. Los puntos negros en los nodos indican clados con soporte > 99.9%..... 119

Figura 56. Ancestría de *G. keule*. A) Mapa de probabilidad de pertenencia a los 3 grupos ancestrales de *G. keule*. Colores más oscuros indican una mayor probabilidad de pertenecer al grupo ancestral.

B) Número de poblaciones ancestrales identificadas por análisis de *snmf* mediante entropía cruzada (K=3)..... 121

Figura 57. Importancia relativa de los predictores ambientales utilizados en el análisis de *gradient forest*. ..... 122

Figura 58. Gradientes de variables climáticas en la distribución natural de *G. keule*. A) Coeficiente de estacionalidad de precipitaciones. B) Promedio de rango diurno de temperatura. C) Altitud (msnm). Colores más oscuros representan valores más altos para coeficiente de estacionalidad (azul), rango diurno de temperatura (rojo) y altura (verde). ..... 123

Figura 59. Variación genética-espacial predicha en la composición genética a nivel de población de *G. keule*. Las localidades con colores similares albergan poblaciones con composición genética similar. .... 124

#### IV. INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores a escala de paisaje y a escala local seleccionados para la jerarquización de las subpoblaciones más amenazadas de *G. keule*. ..... 14

Tabla 2. Reclasificación de los valores de los indicadores de amenaza a escala de paisaje y a escala local para ser utilizado en la jerarquización de las subpoblaciones más amenazas de *G. keule*. ..... 15

Tabla 3. Pruebas ensayadas para la optimización de extracción de ADN de *G. keule*. ..... 17

Tabla 4. Puntos de prospección de *G. keule* en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío ..... 25

Tabla 5. Puntos de presencia priorizados y prospectados a enero del 2020. Datos en rojo corresponden a puntos visitados sin presencia de *G. keule*. Subpoblaciones 17 y 18 corresponden a nuevas subpoblaciones que se originan por nuevos puntos de presencia prospectados en terreno. .... 28

Tabla 6. Ponderación de indicadores de amenaza obtenidos mediante el análisis de jerarquías analíticas. El color rojo indica las tres primeras ponderaciones más altas. .... 71

Tabla 7. Análisis de degradación y atributos ecológicos para los 36 sitios visitados. .... 76

Tabla 8. Categorización (0-5) de la integridad ecológica en los sitios con presencia de *G. keule* .... 77

Tabla 9. Agrupamiento puntos de presencia de *G. keule*. ..... 106

Tabla 10. Localidades muestreadas para análisis genético, agrupados según estrato climático. .... 113

Tabla 11. Detalle del número de reads recuperados y SNPs llamados utilizado en los análisis. .... 115

Tabla 12. Índices generales de diversidad genética de *G. keule* basado en 43.953 SNPs. .... 116

Tabla 13. Índices de diversidad genética por localidades de *G. keule* basado en 43.953 SNPs. .... 117

Tabla 14. Valores de FST entre estratos ambientales basados en 43.953 SNPs. .... 120

## V. INTRODUCCIÓN

La especie arbórea endémica *Gomortega keule* (Molina) Baill., conocido comúnmente como “keule”, o “hualhual”, se encuentra actualmente clasificada En Peligro (EN) según el Reglamento de Clasificación de Especies (RCA) principalmente por la reducción de su tamaño poblacional, área de ocupación y extensión de la presencia. Frente al crítico estado de la especie, el *G. keule*, en el año 1995, es declarado Monumento Nacional, prohibiéndose la tala de ejemplares. CONAF, el año 2005, creó la “Reserva Nacional Los Queules”, ubicada en la Provincia de Cauquenes, Región del Maule, para resguardar a este objeto de conservación.

Las amenazas para la especie son las que ya han sido descritas para el bosque nativo: cambio de uso de la tierra de bosque nativo a plantaciones comerciales, degradación de los bosques por tala ilegal y por incendios forestales, explotación excesiva de leña y fruto, ganado-herbívoros para el regenerado, el cambio climático por la bajada de precipitación y agua disponible en la parte norte de la distribución y la escasa regeneración sexual que presenta la especie, presumiblemente por la conjunción de estrés y escasez/ausencia de polinizadores.

La planificación de medidas apropiadas de conservación y manejo de bosques para una determinada especie forestal, debe considerar la identificación de distintas unidades genéticamente homogéneas, en todo el rango de distribución de la especie. Esto dependerá del conocimiento disponible sobre la variación genética, morfológica y adaptativa. Contar con esta información tiene implicaciones importantes para la transferencia de germoplasma dentro y entre áreas, por ejemplo, en actividades de reforestación o restauración (Azpilicueta et al. 2013). Las zonas genéticas, se entienden como regiones que reúnen a poblaciones más o menos homogéneas desde la perspectiva genética para cada especie, dentro de las cuales se puede transferir material de propagación, ya sea plantas de vivero o semillas, con relativa certeza para no causar cambios en el nivel de la estructura genética (Azpilicueta et al. 2013). Estas zonas genéticas debieran considerarse en la planificación de la conservación de las especies de plantas, en especial las amenazadas.

Según el Ministerio del Ambiente (Alvarez & Acevedo, 1999; Hechenleitner & Gardner, 2005), existirían 30 sectores de distribución con cerca de 100 individuos por sector a lo largo de estos pisos vegetacionales lo que sumaría unos 3000 ejemplares aproximadamente. Se estima que un 60% estarían en terrenos propiedad de empresas forestales (Arauco, Mininco, Tierra Chilena y Masisa), así como de la Armada de Chile (Talcahuano) y el 40% restante en predios de pequeños propietarios en las comunas de Cauquenes, Cobquecura, Coelemu, Tomé, Penco, Florida, Concepción, Hualqui, Los Álamos, Hualpén, Chiguayante y San Rosendo). La especie cuenta con territorio de ocurrencia protegido únicamente en la Reserva Nacional Los Queules (Pelluhue, Maule). Existen viveros comerciales que reproducen esta especie en Hualemu-Ralbún (Arauco) y Tomé (municipal).

## VI. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

### Objetivo general

Evaluar el estado de conservación actual de los sitios con presencia de la especie *Gomortega keule* (Molina) Baill. los cuales se encuentran distribuidos en las regiones de Maule, Ñuble, y Biobío.

### Objetivos específicos.

1. Evaluar, determinar, analizar el área de distribución de *Gomortega keule*, así como el tamaño de las poblaciones, grado de fragmentación de éstas y la calidad de su hábitat.
2. Determinar la diversidad genética mediante marcadores SNPs el área de distribución de *Gomortega keule*.
3. Realizar un análisis de las amenazas directas e indirectas que afectan a *Gomortega keule*.
4. Proponer acciones para la conservación de esta especie en predios seleccionados.

### Actividades asociadas a los objetivos específicos.

1. Validar ficha de prospección para la especie *G. keule*.
2. Definir los puntos de muestreo para las regiones de Maule, Ñuble y Biobío.
3. Determinar los puntos de muestreo para el análisis genético.
4. Prospeccionar el 100% de los puntos de muestreo.
5. Caracterizar las subpoblaciones de acuerdo con la ficha de prospección 1.
6. Jerarquizar las amenazas directas.
7. Determinar superficie afectada por incendios y superficie efectiva para restauración.
8. Determinar las condiciones experimentales óptimas para la extracción de ADN genómico de *G. keule*.
9. Determinar la diversidad genética y las variables ambientales que influyen en la estructuración genómica de *G. keule*.

## VII. METODOLOGÍA

### 7.1 Diseño ficha de prospección

Para crear la ficha de prospección se utilizó como base la ficha aplicada en el plan de conservación de *Pitavia punctata*, la cual fue desarrollada por el Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP) el año 2013. A través de consultas a diversos investigadores de la academia y basados en las "Directrices de uso de las categorías y criterios de la lista roja de la UICN, versión 13 (2017), la ficha base fue modificada, revisada y validada en un taller interno con los equipos de trabajo LEP, Laboratorio de Epigenética Vegetal (LEV) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (Figura 1).

Se propusieron tres ítems que reúnen antecedentes a diferentes niveles ecológicos y un ítem sobre las amenazas directas, estos fueron los siguientes: (i) antecedentes de la población local o área, (ii) antecedentes del paisaje, (iii) antecedentes del ecosistema, (iv) amenazas a la especie objetivo y (v) otros (social). Para seleccionar los antecedentes, se consideró que estos fueran simples para su evaluación en terreno y a la vez que informaran de forma completa el estado de la especie y su entorno.

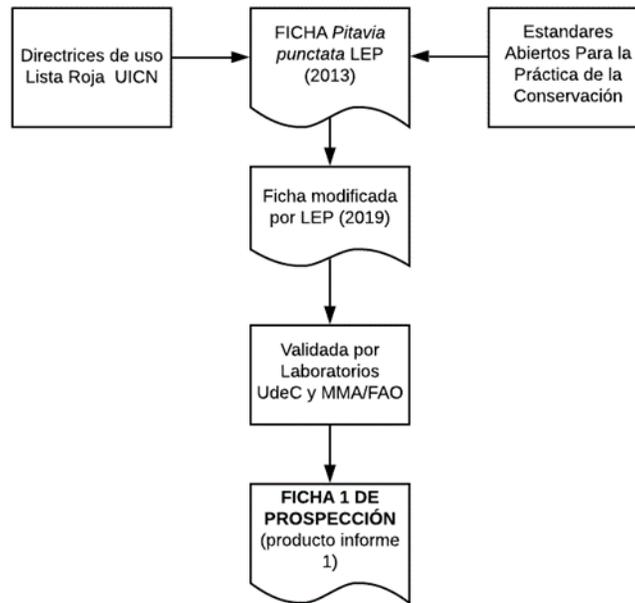


Figura 1. Proceso del diseño de la ficha de prospección 1 para la especie *Gomortega keule*.

La ficha de prospección 2 (Anexo 1) tiene como objetivo registrar antecedentes más detallados de la especie objetivo, tanto en estado adulto como en regeneración, y ya sea mediante la georreferenciación de individuos a través de un recorrido, parcela de muestreo o transecto (Anexo 2).

## 7.2 Definición de los puntos de muestreo

### *Identificación de subpoblaciones*

Una primera aproximación a la identificación de subpoblaciones se llevó a cabo considerando la segregación de sitios mediante un análisis de la distribución geográfica de los puntos de presencia colectados mediante el método “alpha hull” (Burgman and Fox 2003; Edelsbrunner et al. 1983).

Este método consiste en la generación de líneas entre cada punto de presencia utilizando la triangulación de Delaunay. Posteriormente, se calculó la distancia media de todos los segmentos de líneas entre puntos de presencia. Aquellos segmentos que superaron en distancia el triple de la media fueron eliminados (Figura 2). De esta forma, el rango de distribución fue dividido en subpoblaciones.

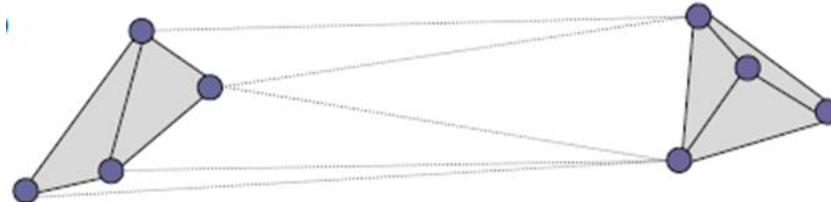


Figura 2. Representación esquemática de la metodología alpha hull. Las líneas representan la triangulación de Delaunay. Cuando el valor de “alpha” es menor que las líneas punteadas, entonces se generan dos subpoblaciones. Extraído de Rivers et al. (2010).

### *Criterios para la selección de puntos a visitar.*

Una vez identificadas las subpoblaciones y con el fin de optimizar los tiempos y recursos, se definieron criterios de selección de puntos a visitar. Para ello se considerarán las siguientes características de los puntos de presencia, en orden de importancia:

1. Puntos en los extremos de la distribución y/o.
2. Puntos históricos no actualizados recientemente (10 años) y/o.
3. Puntos con riesgo a desaparecer (usos de suelo antrópico o sometidas a proyectos con impacto ambiental) y/o.
4. Desconocimiento sobre el tamaño poblacional (N° de individuos) y/o.
5. Áreas sin registro de presencia de las especies y con potencial ocurrencia y/o.

### *Priorización de puntos de prospección*

A partir de la base de datos del Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP), la información entregada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y por el Proyecto “MMA/FAO/GEF Especies Amenazadas”, se generó una base de datos depurada de la especie *Gomortega keule* actualizada a noviembre 2019 (Figura 3).

Se utilizaron cinco criterios para priorizar los puntos de prospección en terreno y el muestreo genético de la base de datos depurada (Figura 3). Para determinar los puntos de presencia a prospectar se utilizaron los primeros cuatro criterios y para el muestreo genético se consideró el último criterio (ambiental), los cuales también coinciden en alguna medida con los demás criterios (1-4).

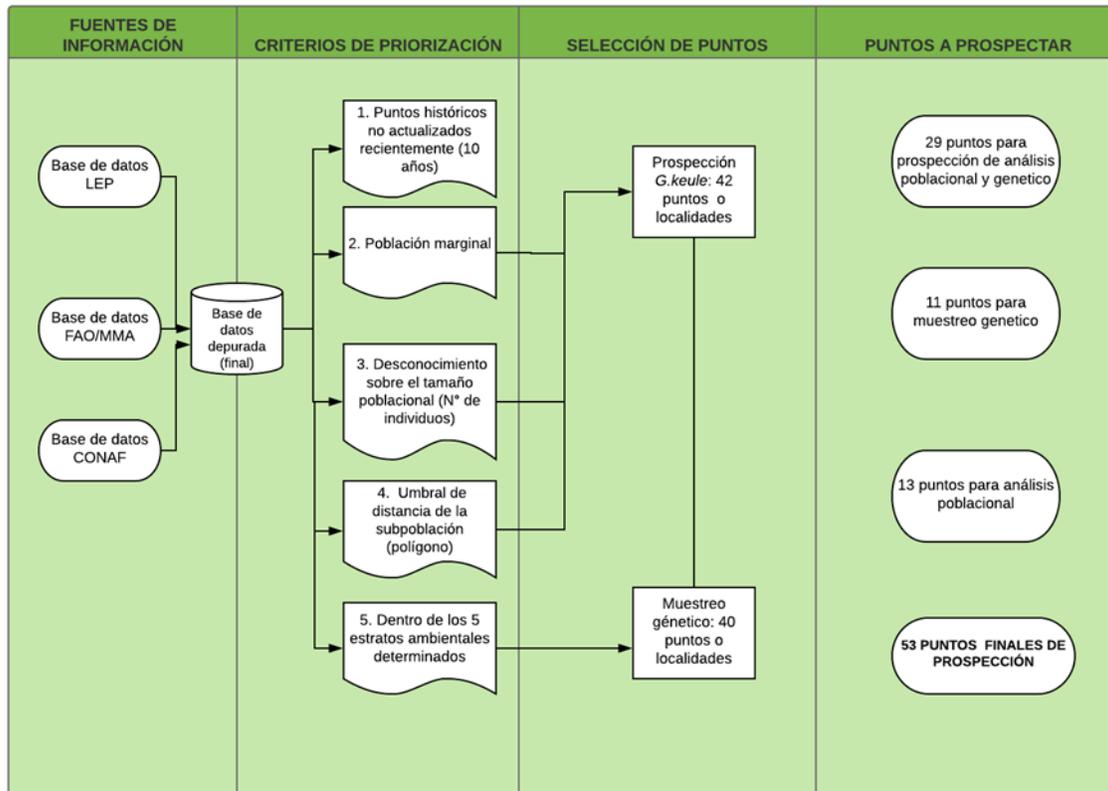


Figura 3. Esquema de priorización de puntos a prospectar en terreno para análisis poblacional y genético de *G. keule*.

### 7.3 Jerarquización de Amenazas

Para calificar las amenazas por punto de presencia visitado se utilizó el sistema de categorías de amenazas de The Nature Conservancy (TNC). El sistema utiliza niveles (Muy alto, alto, medio y bajo) para los criterios de extensión o alcance, gravedad o severidad e irreversibilidad para analizar las distintas amenazas identificadas en la ficha de prospección 1.

### 7.4 Análisis superficie de *G. keule* afectada por incendios forestales

El Shape de subpoblaciones actualizadas de *G. keule* (enero 2020) fue cruzado con un ráster de áreas afectadas por los incendios ocurridos en año 2017. Se identificaron aquellas áreas correspondientes a subpoblaciones que fueron afectadas por los incendios del 2017 y se calculó la superficie de afectación para cada una de las 10 subpoblaciones. De la misma forma, se identificaron aquellos puntos de presencia que fueron afectados.

## 7.5 Análisis de superficie efectiva para restauración

De acuerdo con la reunión realizada el 5 de febrero 2020 se acordó que este ítem no se podía entregar ya que al realizar un análisis de cobertura de suelo sin bosque nativo se pueden calcular cifras erróneas por sobreestimación o subestimación de la superficie. Lo anterior, requiere de un completo análisis de priorización y factibilidad de sitios de restauración, el cual no está incluido en las bases. Por lo tanto, para poder complementar esta actividad se acordó entregar recomendaciones finales de los pasos a seguir para la conservación de *G. keule*.

## 7.6 Análisis de amenazas y propuesta de acciones de conservación

El proceso para proponer las acciones de conservación de las subpoblaciones más amenazadas constó de 4 etapas principales: i) La preparación de los datos, ii) la priorización de las subpoblaciones más amenazadas iii) el análisis de la priorización espacial y iii) Las propuestas de acciones de conservación (Figura 4).

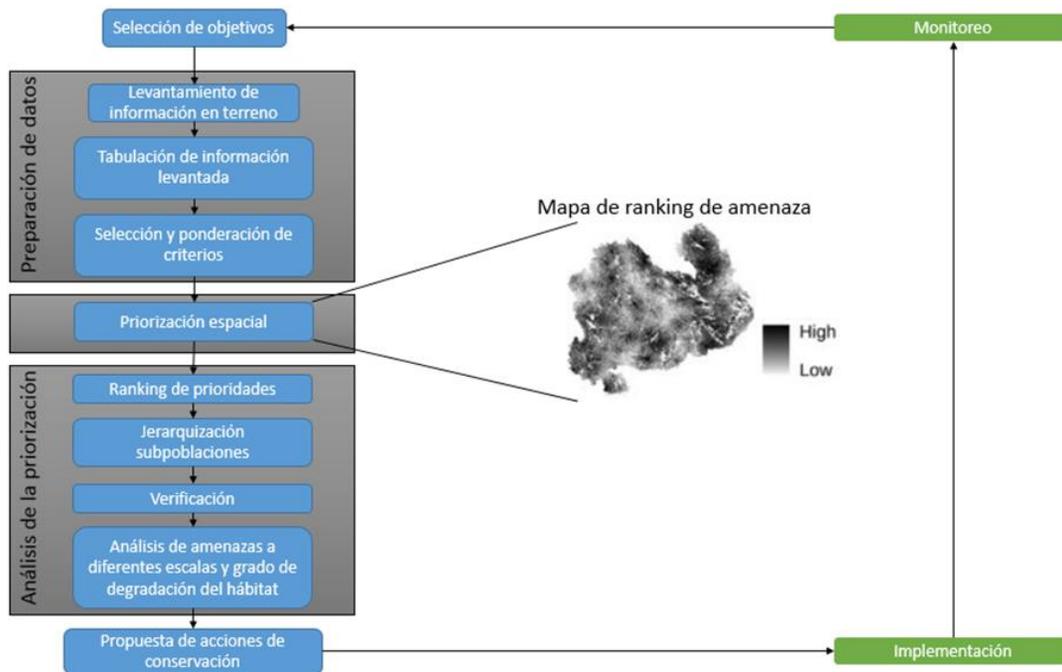


Figura 4. Representación esquemática de las etapas de la planificación sistemática para la conservación de *G. keule* (Adaptado de Lehtomaki et al. 2013). En verde se muestran los pasos de la planificación que no están contemplados en este estudio. La jerarquización de las subpoblaciones más amenazadas considera información a diferentes escalas espaciales y las propuestas de acciones de conservación están orientadas a atender esas amenazas. Una vez implementadas las acciones de conservación es necesario monitorear sus resultados y de ser necesario, plantear nuevos objetivos de conservación.

### Preparación de los datos

Se desarrollaron exhaustivas campañas a terreno entre el 6 de diciembre de 2019 y el 16 de mayo de 2020 para levantar información del hábitat de *G. keule* utilizando las fichas de prospección. Un total de 41 sitios fueron visitados de los cuales 11 correspondieron a puntos aparentemente eliminados (PAE) y 30 correspondieron a puntos con presencia de la especie objetivo. En cada uno de los sitios en los que se encontraron individuos de la especie se levantó información respecto a la población local, del paisaje, del ecosistema, de amenazas directas que pudieran estar afectando el hábitat de *G. keule* y de las condiciones físicas del suelo (Humedad y temperatura). Además, se levantó información estructural de la población (DAP y altura) y sobre procesos de regeneración, ya sea por tocón o por semilla.

La información levantada en terreno de cada uno de los sitios prospectados fue tabulada para generar una completa base de datos con toda la información local, además de información espacial de cada sector visitado para luego poder ser procesada mediante SIG.

Una vez tabulada la información levantada en terreno sobre el hábitat de la especie, se realizaron dos reuniones del equipo técnico para seleccionar los criterios e indicadores adecuados para jerarquizar el nivel de amenaza de todos los puntos de presencia *G. keule* a nivel nacional, y por otra parte, los indicadores para jerarquizar las subpoblaciones visitadas. Dos análisis fueron realizados, uno a escala de paisaje, considerando sólo los indicadores de amenaza a escala de paisaje y otro, para la jerarquización de las subpoblaciones visitadas más amenazadas, que contempló los indicadores a escala de paisaje y, además, los indicadores a escala local (tabla 1)

Tabla 1. Indicadores a escala de paisaje y a escala local seleccionados para la jerarquización de las subpoblaciones más amenazadas de *G. keule*.

Indicadores de amenaza a escala de Paisaje	Indicadores de amenaza a escala local
Cercanía a caminos	Tala de bosque nativo
Cercanía a incendios	Presencia de especies invasoras
Cercanía a plantaciones forestales	Evidencia de extracción de frutos
Cercanía a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental	Evidencia de ramoneo
Cercanía a centros poblados	Evidencia de extracción de plántulas

Los indicadores a escala de paisaje fueron espacializados mediante ArcGis 10.4, donde fueron preprocesados para luego ser empleados en generar un mapa de priorización mediante el software Zonation 4.0.

Para poder estandarizar los rangos de valores de cada indicador de amenaza y ser utilizados para la jerarquización de las subpoblaciones visitadas, se generaron rangos de valores para los indicadores a escala de paisaje y a escala local y fueron llevados a una escala numérica entera con valores entre 1 y 5, siendo 5 el valor que representa una muy alta amenaza y 1, el valor que representa una muy baja amenaza (Tabla 2).

Tabla 2. Reclasificación de los valores de los indicadores de amenaza a escala de paisaje y a escala local para ser utilizado en la jerarquización de las subpoblaciones más amenazadas de *G. keule*.

Indicadores de amenaza	Valor de amenaza				
	5	4	3	2	1
Cercanía a caminos (km)	0-0.2	0.2-0.5	0.5-1.3	1.3-2.7	>2.7
Cercanía a incendios (km)	0-1.5	1.5-3	3-4.5	4.5-6	>6
Cercanía a plantaciones (km)	0-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.07	>0.07
Cercanía a proyectos bajo EIA (km)	0-4	4-8	8-16	16-32	>32
Cercanía a centros poblados (km)	0-1	1-2	2-3	3-4	>4
Tala de bosque nativo	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Presencia de especies invasoras	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Extracción de frutos	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Ramoneo	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Extracción de plántulas	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

Luego, cada indicador de amenaza fue ponderado. Para ello, se realizó un análisis de jerarquías analíticas utilizando la metodología propuesta por Thomas L. Saaty (1980). Se encuestó a tres profesionales de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), dos profesionales de la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Biobío y a dos profesionales externos. Cada profesional debió completar dos encuestas (FIGURA 5), la primera enfocada a sólo a la jerarquización de las amenazas a escala de paisaje y la segunda, a las amenazas a escala local y de paisaje.

Indicador	Marque con una X el valor a asignar									Indicador
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sitios cercanos a caminos			X							Sitios cercanos a zonas afectadas por incendios
Sitios cercanos a caminos			X							Sitios cercanos a plantaciones forestales
Sitios cercanos a caminos						X				Sitios cercanos a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental
Sitios cercanos a caminos					X					Sitios cercanos a zonas urbanizadas
Sitios cercanos a zonas afectadas por incendios				X						Sitios cercanos a plantaciones forestales
Sitios cercanos a zonas afectadas por incendios						X				Sitios cercanos a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental
Sitios cercanos a zonas afectadas por incendios						X				Sitios cercanos a zonas urbanizadas
Sitios cercanos a plantaciones forestales							X			Sitios cercanos a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental
Sitios cercanos a plantaciones forestales							X			Sitios cercanos a zonas urbanizadas
Sitios cercanos a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental				X						Sitios cercanos a zonas urbanizadas

Figura 5. Ejemplo de encuesta para el análisis de jerarquías analíticas de los indicadores a escala de paisaje.

Posteriormente, la información obtenida de la matriz de jerarquías analíticas fue tabulada para obtener los puntajes de priorización de cada indicador de amenaza.

### Priorización espacial

Los indicadores de amenaza a escala de paisaje fueron espacializados mediante ArcGis 10.4 y luego se utilizó el software Zonation 4 para la priorización del grado de amenaza de los sitios con presencia de *G. keule* considerando las ponderaciones obtenidas del análisis de jerarquías analíticas. Se obtuvo un mapa ráster con valores de píxel continuos entre 0 y 1, siendo los valores más cercanos a 1 aquellos

que poseen un mayor grado de amenaza. Luego, el valor del ráster de Zonation fue extraído a cada punto de presencia de la especie para obtener el valor final de amenaza de cada subpoblación.

### ***Análisis de la priorización***

Una vez obtenido el ranking de sitios más amenazados a escala de paisaje mediante Zonation, se procedió a jerarquizar las subpoblaciones visitadas más amenazadas, considerando, además, los indicadores de amenaza a escala local. Para ello, cada indicador estandarizado fue ponderado con su respectivo puntaje y se sumó el valor total de los 10 indicadores para cada sitio. Posteriormente, el valor final fue normalizado en una escala de 0 a 1, siendo los valores más cercanos a 1 los que representan un mayor grado de amenaza. Los valores obtenidos del ranking de amenaza fueron verificados por expertos para analizar la congruencia de los valores obtenidos en la jerarquización con lo observado en terreno.

Una vez verificada la jerarquización de los sitios visitados se identificó el quintil superior más amenazado para proponer acciones de conservación a corto, mediano y largo plazo y a diferentes escalas espaciales.

### ***Propuesta de acciones de conservación***

Las propuestas de acciones de conservación estuvieron orientadas a atender las amenazas y la degradación de los atributos ecológicos a escala de paisaje y a escala local del quintil superior de los sitios visitados más amenazados. Para ello, se generó una matriz de valores enteros entre 0 y 5 para cada atributo ecológico evaluado en terreno, siendo los valores más cercanos a 5 los que indicaban un mejor “estado” del atributo en cuestión. Esta matriz ayudó a determinar la calidad del hábitat de los sitios visitados, para generar una visión global del estado de las subpoblaciones a diferentes escalas. La propuesta de acciones de conservación se realizó a distintos niveles ecológicos (especie, comunidad-ecosistema y paisaje) a corto, mediano y largo plazo.

## **7.7 Diseño de muestreo para análisis genético**

Con el fin de determinar los puntos de muestreos para los análisis genéticos, se realizó un análisis de componentes principales usando los puntos de presencia de *G. keule* y variables climáticas. Se utilizó una estrategia mixta de selección de puntos de muestreo, la cual está basada en distancia geográfica y distancia ambiental (Selmoni et al. 2019). El procedimiento empleado consta de los siguientes pasos:

- 1.- Recepción de puntos de presencia con 855 registros de *Gomortega keule* (*G. keulest.shp*), enviado por el LEP a partir de la Base de datos depurada (Fig. 3).
- 2.- Descarga de datos ambientales (1960-1990) desde worldclim (<http://worldclim.org/current>): Se descargaron raster de 19 variables ambientales (Bio1-Bio19) con resolución 30arc/seg (1km aprox). Además, se incluyó raster DEM (altura -msnm) con la misma resolución.
- 3.- En R, con los paquetes Raster, rgdal, ggplot se realizó análisis PCA:
  - A) Carga de archivos Shape.
  - B) Carga raster de datos climáticos (Bio1-Bio19 + altura).
  - C) Extracción de valores climáticos para cada punto de presencia.
  - D) Análisis de covarianza de los datos ambientales en la cual se retuvieron las variables ambientales que tenían una covarianza  $< 0.85$  (Bio2, Bio3, Bio4, Bio5, Bio9, Bio13, Bio15 y altura).
  - E) Estandarización de los valores climáticos para cada uno de los puntos.

F) Análisis de Componentes Principales (PCA - función princomp() en R).

G) En los PCA se graficaron sólo los puntos que no se sobrelapan. Esto es porque hay puntos de presencia que están muy cercanos, y la resolución del raster ambiental es de 1km, por lo tanto, es capaz de diferenciar datos ambientales sobre los puntos que se encuentran a mayor distancia (>1km).

H) Análisis de clusterización para definir número de grupos de puntos significativamente distintos, desde el punto de vista ambiental. Dichos grupos están conformados por puntos ambientalmente similares.

4.- Análisis de estratificación ambiental para definir número de grupos de puntos significativamente distintos, desde el punto de vista ambiental. Dichos grupos se presentan del mismo color agrupados por puntos ambientalmente similares.

## 7.8 Optimización extracción de ADN de *G. keule*

### *Etapa 1.*

La Extracción de ADN genómico se llevó a cabo usando el kit de Qiagen DNeasy Plant (Qiagen Inc., USA), siguiendo las instrucciones del fabricante. Las condiciones ensayadas se detallan en la Tabla I. La integridad del ADN genómico se evaluó mediante gel de agarosa al 1%. Las muestras para esta optimización fueron facilitadas por el Dr. Diego Alarcón, puesto que aún no contamos con las muestras correspondientes a la actual licitación, por lo que no se pudo realizar una matriz de prueba amplia debido a la poca cantidad de muestras con las que contábamos.

Tabla 3. Pruebas ensayadas para la optimización de extracción de ADN de *G. keule*.

Pruebas	Condición 1		Condición 2	
	1. Lugar Procesamiento	Terreno		Laboratorio
2. Tipo de solución de lisis (SL)	SL-CTAB	SL-SDS	SL-CTAB	SL-SDS
3. Cantidad de masa tejido	50 mg		30 mg	50 mg
4. Tipo de tejido	Hoja		Hoja	Yema
5. Tipo de esfera	Cerámica		Tungsteno	
6. Tipo de agente antioxidante	-		DTT	PVP
7. % de agente antioxidante (PVP)	4%		1%	4%

En una primera etapa se ensayaron, en columnas de extracción de sílica individuales, las pruebas del 1 al 5 (Tabla 3). Seleccionadas algunas condiciones se ensayaron, en placas de extracción de sílica (o extracción masiva), las condiciones 7 y 8.

### *Etapa 2.*

Una vez validadas las condiciones de tipo de solución de lisis, cantidad de masa de tejido y porcentaje de agente antioxidante, se ensayaron distintos tipos de tejidos y se validó la extracción masiva de ADN.

Sumado a lo anterior, se estandarizó la forma de almacenamiento en el transporte desde terreno al laboratorio. Para esto, ramas de *G. keule* de 20 cm aproximadamente de 22 individuos fueron colectadas en duplicado y divididas en dos condiciones de almacenamiento: 1) Bolsas de papel y 2)

envueltas en papel absorbente humedecido, guardadas dentro de bolsas tipo ziplock y transportadas en cooler con icepack congelados. Cada muestra colectada fue georreferenciada y marcada con una cinta adhesiva donde se especificó nombre y locación. Para la extracción se utilizó el kit descrito en la etapa 1.

Los tipos de tejido probados en la extracción de esta etapa fueron: Brote apical (AP), hoja semiextendida (SE) y hoja extendida madura (E). La integridad del ADN genómico se evaluó mediante gel de agarosa al 1%. La concentración del ADN fue determinada para un set de muestras representativas utilizando el equipo Espectrofotómetro para Microplacas Epoch™.

### 7.9 Puesta a punto secuenciación

Se realizó la puesta a punto de la construcción de librerías genómicas para el genotipado de SNPs usando Genotyping-by-Sequencing (GBS) en Biotechnology Center - Wisconsin University, USA (BCWU). Se empleó el método de Elshire et al. (2011) con modificaciones; una o dos enzimas de restricción. Se probaron cinco sistemas enzimáticos (ApeKI, NsiI/MspI, PstI/MspI, PstI/BfaI y NsiI/BfaI) de GBS para escoger el más adecuado para *G. keule*, dado que anteriormente no existían estudios para la especie.

### 7.10 Genotipificación de SNPs usando GBS

Las librerías de GBS por cada individuo fueron preparadas mediante digestión del ADN genómico con las enzimas de restricción PstI y MspI. La secuenciación de alto rendimiento fue realizada con Illumina Nova Seq 6000 (paired-end). Todas estas actividades se realizaron mediante subcontrato con BCWU.

Las lecturas resultantes de la secuenciación (GBS) fueron filtradas por calidad y ensambladas en loci utilizando ipyrad v.0.9.48. Las muestras fueron demultiplexadas (separadas según muestra de origen) y manipuladas para remover lecturas con baja calidad, barcodes incompletos y exceso de adaptadores. Luego del control de calidad, se identificaron secuencias idénticas en cada individuo para formar los loci. Dentro de estos loci se identifican los polimorfismos de una sola base o SNPs. Finalmente son retenidos los SNPs que están compartidos entre el 20% de los individuos genotipificados con una frecuencia alélica mayor de 0.45 y una frecuencia alélica menor (MAF) de 0.01. Finalmente, se genera una matriz de datos que contiene la información genética, que puede ser leída en programas especializados como Tassel, PLINK o R (R core team, 2008) (Figura 6).

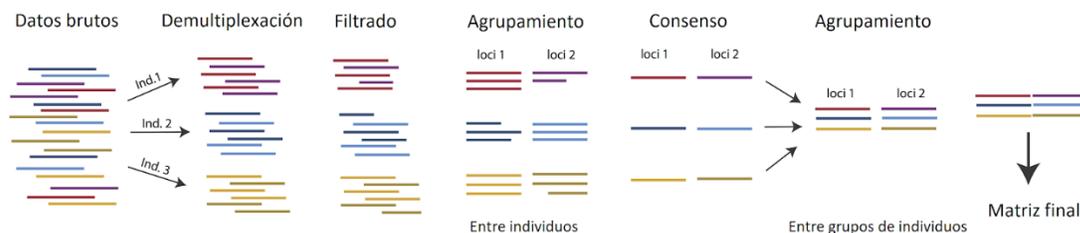


Figura 6. Diagrama de pipeline utilizado para el análisis GBS mediante ipyrad. Modificado de <https://radcamp.github.io/Yale2019/>

### ***Detección de loci putativamente bajo selección.***

Para la detección de loci bajo selección, se utilizó PCAdapt (Lu et al., 2017), el cual genera un “modelo libre” de distribución nula de las distancias genéticas entre individuos basado en un análisis de PCA. La función `pcadapt()` fue aplicada para retener los primeros 20 componentes. La presencia de loci putativamente bajo selección fué confirmada graficando los histogramas de los p-value y el test estadístico de Mahalanobis (D2), con una tasa de descubrimiento falso (FDR) de 5%, con el paquete de R PCAdapt v.4.0.3 (Lu et al., 2017) y `qvalue` v.2.16.0 (Storey et al., 2019).

### ***Estructura genética de *G. keule*.***

Para determinar la estructura poblacional, se estimaron el número de poblaciones ancestrales (K) y los coeficientes de ascendencia genética mediante un análisis de admixture con sNMF (sparse nonnegative matrix factorization algorithm, Frichot et al., 2014), implementado en R v.3.5.1 (R Core Development Team, 2013) con el paquete LEA (Frichot and François, 2013).

El enfoque sNMF proporciona estimaciones de mínimos cuadrados de los coeficientes de ascendencia e incorpora un criterio de entropía cruzada para evaluar el ajuste del modelo (Shryock et al., 2017). El programa proporciona resultados comparables a STRUCTURE y ADMIXTURE (Frichot et al., 2014; Boehm et al., 2015), pero no asume el equilibrio de Hardy-Weinberg y requiere mucho menos tiempo de cálculo (Frichot et al., 2014).

En segundo lugar, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando la matriz con los marcadores neutrales (excluyendo los marcadores selectivos) y los marcadores selectivos (ver detalle abajo). Este análisis se realizó con la función `glPCA()` del paquete de R `adegenet` v.2.1.1 (Jombart, 2008) reteniendo sólo los 3 primeros componentes.

Además, la estructura genética entre individuos se examinó utilizando una estimación no sesgada de la divergencia genética. Para esto, se calculó la distancia euclidiana entre individuos, sin asignación previa de poblaciones putativas con el paquete `Poppr` v2.8.6 (Kamvar et al. 2015) y la plataforma R v.3.5.1. La distancia neutral y la obtenida por loci putativamente bajo selección fue utilizada para construir árboles UPGMA sin enraizar con el paquete `ape` v5.3 (Paradis y Schliep, 2018).

### ***Determinación de la diversidad genética de *G. keule*.***

Para medir las diferencias y la diversidad genética entre las localidades pertenecientes los diferentes estratos ambientales, se calculó el índice de fijación entre pares de poblaciones (FST), heterocigosidad observada (Ho) y esperada (He) y coeficiente de endogamia (Gis), utilizando el software `GenoDive` v.3.02 con 999 permutaciones.

### ***Visualización de variación genética-ambiental.***

Para seleccionar las variables climáticas que mejor explican la variación genética entre las localidades de *G. keule* analizadas, se implementó un análisis de gradient forest (GF) en el paquete R `gradient forest` (Ellis et al., 2012). Gradient forest es una extensión a nivel comunitario del enfoque de random forest, de aprendizaje automático no paramétrico adaptado para detectar el recambio alélico en datos genómicos. GF proporciona una lista clasificada del poder predictivo relativo (R<sup>2</sup>) de todas las variables ambientales, lo que permite identificar las que mejor explican la variación genética observada. La frecuencia alélica de los loci putativamente bajo selección se utilizó como variable de respuesta y las variables climáticas como predictoras (Fitzpatrick y Keller, 2014). GF se ajustó utilizando 2000 árboles de regresión por SNP y una correlación variable de 0,5. Se utilizaron valores predeterminados para el número de variables predictoras muestreadas aleatoriamente como

candidatas en cada división y para la proporción de muestras utilizadas para el entrenamiento ( $\sim 0,63$ ) y la prueba ( $\sim 0,37$ ) de cada árbol.

Las funciones de recambio derivadas de y GF se utilizaron para examinar los cambios en las frecuencias de los alelos a lo largo de cada gradiente ambiental y para realizar transformaciones biológicamente informadas de las variables ambientales en valores de importancia genética. Para visualizar los patrones genéticos multidimensionales resultantes en el espacio geográfico y biológico, utilizamos el Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir las variables ambientales transformadas en tres factores. El PCA se centró pero no se transformó a escala para preservar las diferencias en la magnitud de la importancia genética entre las variables ambientales. La diferencia en la composición genética entre los puntos de la cuadrícula se mapeó asignando las primeras tres PC a una paleta de colores RGB, con la similitud de color resultante correspondiente a la similitud de los patrones esperados de composición genética. El resultado fue mapeado en el espacio geográfico.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Ficha de prospección 1

La ficha de prospección 1 cuenta con un metadato (0-21) el cual describe los antecedentes para facilitar el trabajo del prospector (Figura 7).

#### I. Antecedentes del prospector o recolector

Nombre: _____	Institución: _____	Fecha: _____
Correo electrónico: _____	Profesión: _____	

#### II. Antecedentes de la población local\* o del área (muestreo por recorrido).

Especie <sup>6</sup> : _____	Número de individuos adultos <sup>2</sup> : _____	*Número de plántulas <sup>5</sup> : _____	Extensión de la presencia local (m <sup>2</sup> ) <sup>7</sup> : _____	Habita en <sup>8</sup> : Bosque nativo [ ] Plantación forestal [ ] Bosque mbto [ ] Matorral [ ] Pradera [ ] Otro [ ]
Código del área <sup>1</sup> : _____	Número de individuos maduros <sup>3</sup> : _____	*Número de brinzales <sup>6</sup> : _____		
Localidad <sup>2</sup> : _____	Cercanía a cursos de agua (m): Si, <100 metros [ ] No, >100 metros [ ]	SNASPE: SI [ ] No [ ]	Problemas fitosanitarios <sup>9</sup> : No [ ] B [ ] M [ ] A [ ]	

#### III. Antecedentes generales de la población local

Nombre del predio: _____	Coordenadas UTM <sup>12</sup> : X _____ Y _____	Altitud: _____	Pendiente(°): _____
Propietario1: _____ Propietario2: _____	Datum: _____	Exposición geográfica: _____	Piso vegetacional: _____ (completar en oficina)
Propietario 3: _____	Huso: _____		
Tenencia de la propiedad <sup>10</sup> : E [ ] P [ ] C [ ] A [ ]			
Uso del predio <sup>11</sup> : _____			

#### IV. Antecedentes del paisaje

Tipo de uso de suelo(matriz dominante) <sup>13</sup> : _____	Superficie fragmento con vegetación nativa (>0,5 ha): _____	Topografía: •Plano [ ] •Pendiente suave [ ] •Pendiente abrupta [ ] •Terraza [ ] •Cumbre escarpada [ ] •Fondo quebrada [ ]
--	---	---

#### V. Antecedentes del ecosistema

Estratos presentes <sup>14</sup> : Arbóreo dominante [ ] Arbóreo intermedio [ ] Arbóreo suprimido [ ] Arbustivo [ ] Herbáceo [ ]	Cobertura de copas <sup>15</sup> : •Bajo [ ] •Medio [ ] •Alto [ ]	Presencia de fauna <sup>14</sup> : Sonido de aves N [ ] B [ ] A [ ] Nidos visibles N [ ] B [ ] A [ ] Avistamiento vertebrados N [ ] B [ ] A [ ] Avistamiento invertebrados N [ ] B [ ] A [ ]	Presencia de arboles muertos donde se encuentra la especie <sup>17</sup> : •Árboles muertos en pie N [ ] B [ ] A [ ] •Árboles muertos caídos N [ ] B [ ] A [ ] •Desechos leñosos finos o gruesos N [ ] B [ ] A [ ]
	Sotobosque: Trepadoras [ ] Epifitas [ ] Helechos [ ] Herbáceas [ ]	Especies dominantes <sup>18</sup> : 1. _____ 2. _____ 3. _____	

#### VI. Amenazas a la especie objetivo

Amenazas directas <sup>20</sup> : 1. Evidencia de corta de la especie [ ] 2. Extracción de frutos [ ] 3. Ramoneo [ ] 4. Evidencia de fuego [ ] 5. Extracción de plántulas [ ] 6. Ninguna [ ]	Cercanía a centros poblados (Indicar si el punto de presencia se encuentra a menos de 1 km de centros poblados): SI [ ] No [ ]
Presencia de especies invasoras: SI [ ] No [ ] sp: _____ %cobertura _____	Presencia de ganado <sup>21</sup> : Senderos: N [ ] B [ ] A [ ] Bostas: N [ ] B [ ] A [ ]
	Cercanía a proyectos inmobiliarios, carreteros, mineros, hidroeléctricos, otros SI [ ] No [ ] distancia _____ km

#### VII. Otros.

Disposición a conservar: Propietario 1 N [ ] B [ ] A [ ] Propietario 2 N [ ] B [ ] A [ ] Propietario 3 N [ ] B [ ] A [ ]	Usuario de INDAP Propietario 1 SI [ ] No [ ] Propietario 2 SI [ ] No [ ] Propietario 3 SI [ ] No [ ]
--	--

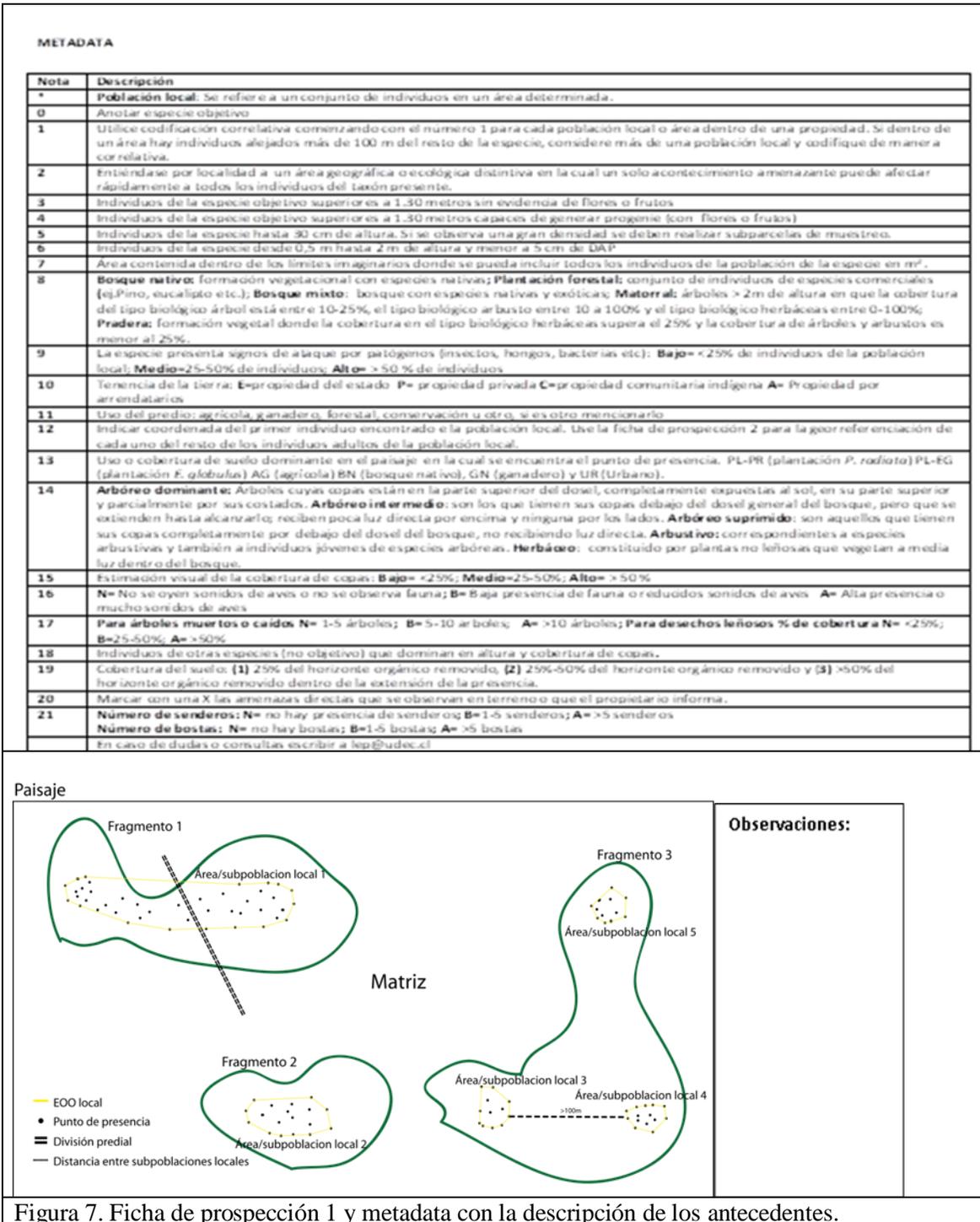


Figura 7. Ficha de prospección 1 y metadata con la descripción de los antecedentes.

## 8.2 Definición de puntos de muestreo

### Identificación de subpoblaciones

La extensión de la presencia (EOO) estimada a partir de la información actual corresponde a 6.592,8 km<sup>2</sup> (Figura 8). Un total de 16 subpoblaciones fueron identificadas mediante el análisis de *Alpha hull* 3 (Figura 8). La mayor cantidad de subpoblaciones se concentran en la Provincia de Concepción. La superficie que abarcan cada una de estas subpoblaciones es variable, siendo las de mayor tamaño aquellas ubicadas en las comunas de Cobquecura, Coelemu y Tomé.

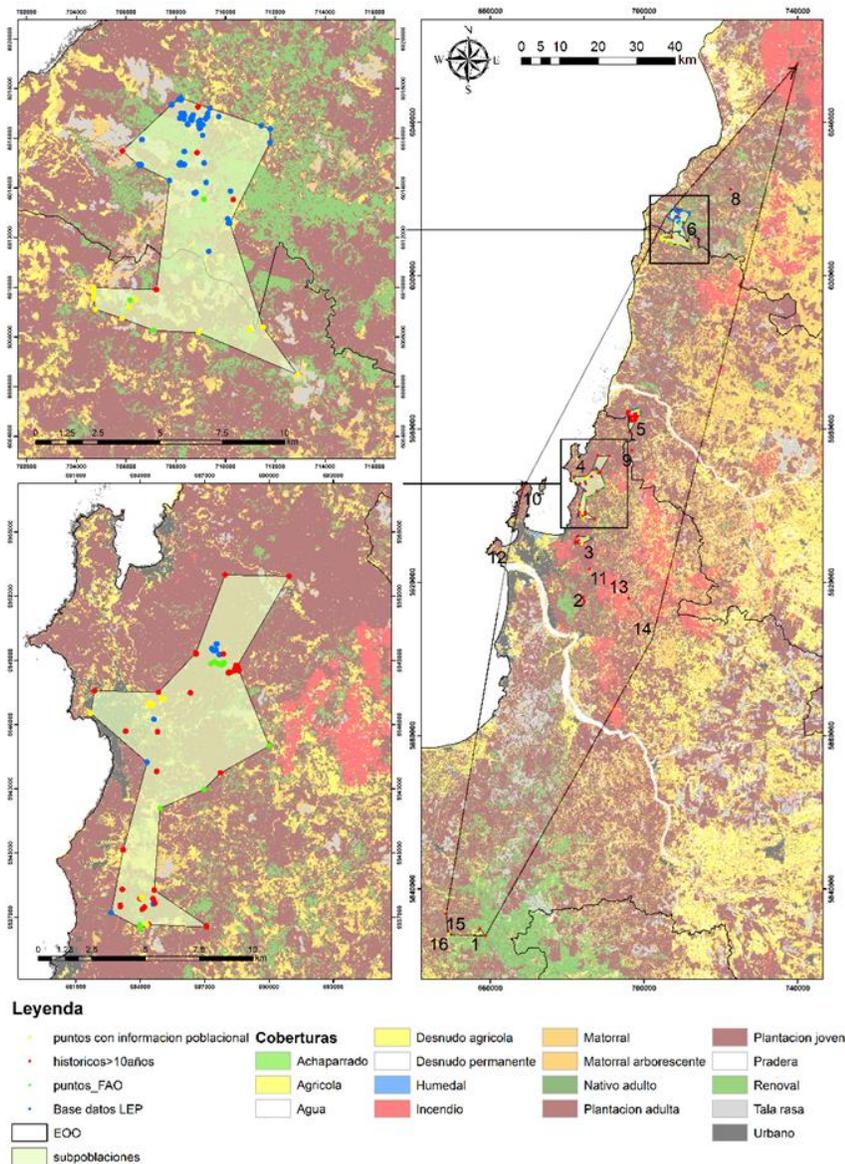


Figura 8. Subpoblaciones identificadas según el método de alpha hull (polígonos oliva). Puntos amarillos corresponden a puntos de presencia donde el LEP ya tiene información poblacional. Puntos rojos corresponden a puntos con más de 10 años de antigüedad. Puntos verdes corresponden a aquellos puntos de presencia aportados por el Ministerio de Medio Ambiente y la FAO. Puntos azules corresponden a los puntos de presencia con los que ya contaba el LEP. La Línea negra continua corresponde a la Extensión de la presencia de *G. keule*.

Mediante los criterios de priorización de puntos a visitar se identificaron 25 posibles áreas a muestrear, las cuales se distribuyen de norte a sur en toda la extensión de la presencia de *G. keule* (Figura 9).

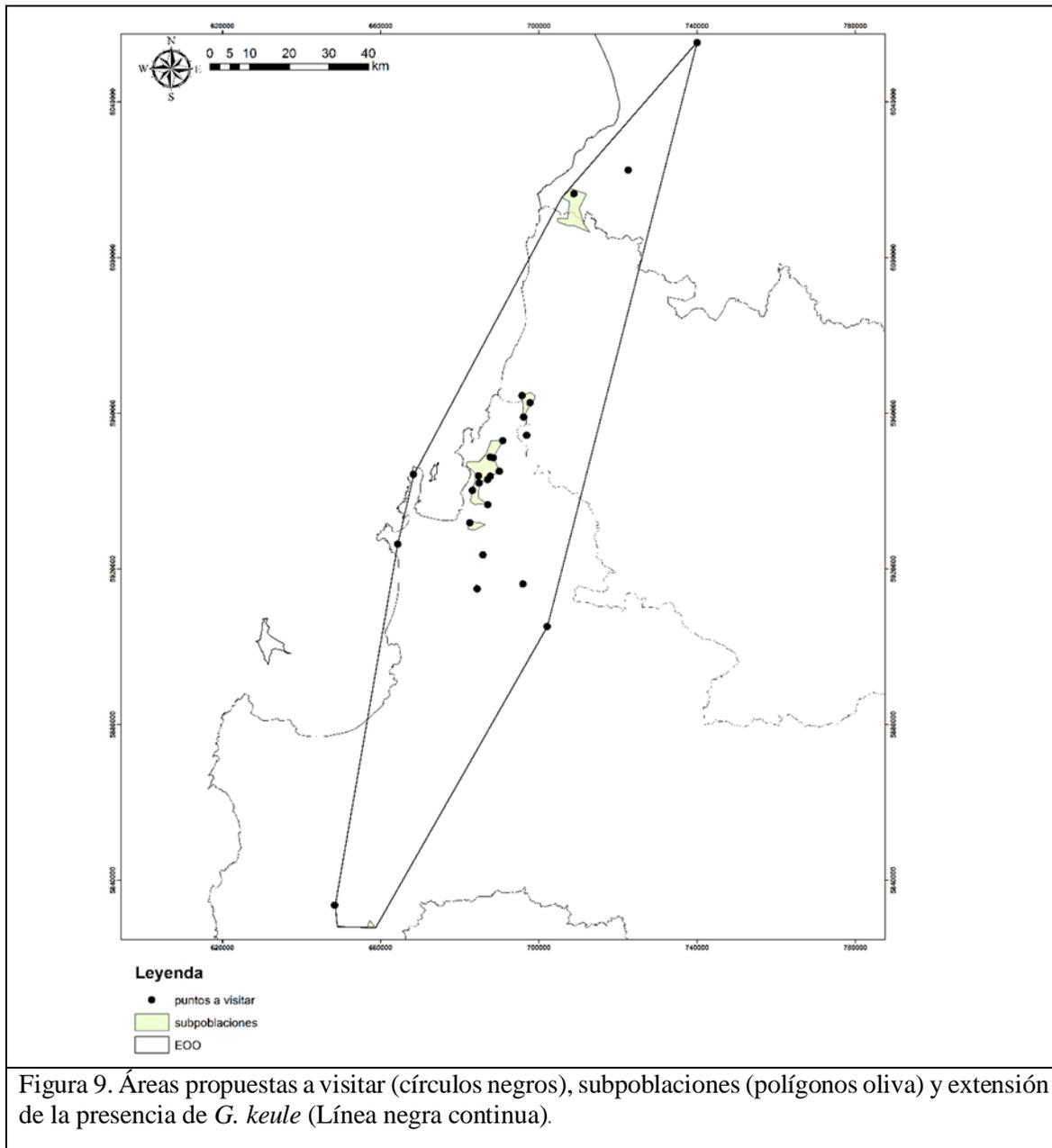


Figura 9. Áreas propuestas a visitar (círculos negros), subpoblaciones (polígonos oliva) y extensión de la presencia de *G. keule* (Línea negra continua).

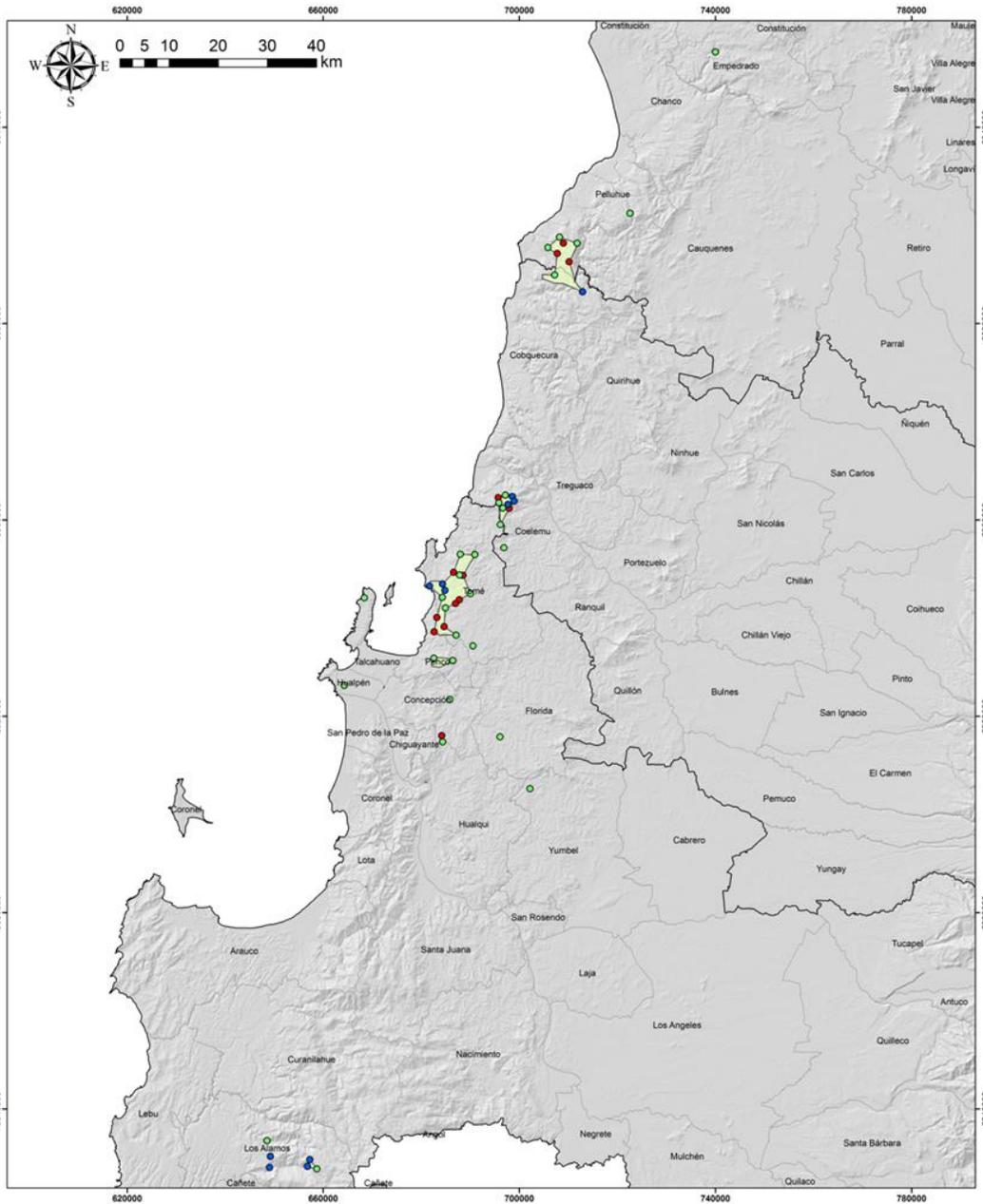
### Priorización de puntos de prospección para análisis poblacional

De acuerdo con la aplicación de los criterios descritos en la figura 3, se propusieron un total de 42 puntos de presencia que fueron presentados en una reunión sostenida el 22 de noviembre con los equipos de trabajo LEP, LEV y MMA/FAO.

Adicionalmente, para el muestreo genético se consideró el último criterio (estratos ambientales), del cual se generó un listado de 40 puntos a muestrear. Luego, al sobreponer espacialmente ambos listados, se llegó a un listado final de 69 puntos a visitar distribuidos en la región de Maule, Ñuble y Biobío (Figura 10, Tabla 4).

Tabla 4. Puntos de prospección de *G. keule* en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío

ID	X	Y	Comuna	Nombre sitio	Propiedad	ID	X	Y	Comuna	Nombre sitio	Propiedad
PP_0	684175,7	5916075,6	Concepción	Nonguen 2	Forestal Arauco SA	PP_38	658719,0	5827794,5	Los Alamos	Don alfonso	Forestal Arauco SA
PP_1	688521,6	5948741,7	Tomé	Frutillares 2	Forestal Arauco SA	PP_39	696871,3	5954365,5	Coelemu	El peral	Forestal Arauco SA
PP_2	687755,3	5943748,3	Tomé	El arrayán 2	Forestal Arauco SA	PP_40	695836,3	5963510,3	Coelemu	Guayguay 3	Forestal Arauco SA
PP_3	683205,4	5940146,7	Tomé	Punta de parra	Sin antecedente	PP_41	696612,3	5962431,3	Coelemu	Guay guay 4	Forestal Arauco SA
PP_4	684655,2	5938265,6	Tomé	Punta de parra 2	Forestal Arauco SA	PP_42	711798,0	6016384,0	Pelluhue	Cancelillos_2	Sin antecedente
PP_5	686598,7	5949354,7	Tomé	Frutillares 3	Sin antecedente	PP_43	686417,0	5931361,0	Penco	Juan chico	Sin antecedente
PP_6	695698,3	5964551,3	Coelemu	Guayguay_1	Forestal Arauco SA	PP_44	684313,0	5944239,0	Tomé	Tomé_1	Sin antecedente
PP_7	697933,2	5962378,3	Coelemu	Quilteu	Sin antecedente	PP_45	702180,8	5905260,9	Yumbel	Lucay	Sin antecedente
PP_8	710147,0	6012582,0	Pelluhue	Ramadillas	Sin antecedente	PP_46	697166,0	5965073,0	Coelemu	Guayguay 2	MASISA
PP_9	682647,0	5937212,0	Tomé	Lirquén 2	Sin antecedente	PP_47	687104,0	5936537,0	Tomé	Lirquén3	Forestal Arauco SA
PP_10	708970,0	6016396,0	Pelluhue	Cancelillos	MASISA	PP_48	687846,4	5948797,3	Tomé	Frutillares_1	Privada pequeña
PP_11	707753,0	6014307,0	Pelluhue	Quile 2	MASISA	PP_49	690020,3	5945007,1	Tomé	El arrayán_1	Privada pequeña
PP_12	686986,6	5942966,7	Tomé	Donihue 2	Privada pequeña	PP_50	684932,6	5942097,3	Tomé	Donihue_1	Privada pequeña
PP_13	649239,0	5830333,0	Los Alamos	Caramavida	Forestal Arauco SA	PP_51	684379,5	5914790,8	Hualqui	Nonguén_1	Forestal Arauco SA
PP_14	697657,2	5963167,3	Coelemu	Quilteu_2	Forestal Arauco SA	PP_52	690553,0	5934343,0	Tomé	Buena Esperanz	Privada pequeña
PP_15	698591,0	5964764,0	Coelemu	Quilteu_3	MASISA	PP_53	690009,7	5954646,4	Tomé	Menque_2	FASA
PP_16	698944,0	5963864,0	Coelemu	Quilteu_4	MASISA	PP_54	686240,0	5934836,0	Penco	Los coihues	Privada pequeña
PP_17	681694,2	5946526,0	Tomé	Tomé_2	Sin antecedente	PP_55	684001,92	5936477,92	Lirquén	Lirquen_1	Sin antecedente
PP_18	684338,0	5946948,5	Tomé	Tomé_3	Sin antecedente	PP_56	683688	5937003	Lirquén	Lirquen_2	Sin antecedente
PP_19	684814,5	5945662,1	Tomé	Tomé_4	Sin antecedente	PP_57	706200,63	6009199,10	Cobquecura	Quile_3	Sin antecedente
PP_20	712911,0	6006477,0	Cobquecura	San Antonio	Forestal Arauco SA	PP_58	667292	5938512	Talcahuano	Tumbes_2	Base Naval
PP_21	657284,4	5829671,9	Los Alamos	Los Alamos_2	Forestal Arauco SA	PP_59	668339	5942175	Talcahuano	Tumbes_3	Base Naval
PP_22	656789,0	5828329,0	Los Alamos	Los Alamos_3	Forestal Arauco SA	PP_60	668251	5942128	Talcahuano	Tumbes_4	Base Naval
PP_23	649081,0	5828100,0	Los Alamos	Los Alamos_4	Forestal Arauco SA	PP_61	668619	5940216	Talcahuano	Tumbes_5	Base Naval
PP_24	708203,0	6017634,0	Pelluhue	Tregualemu_1	MASISA	PP_62	711150,0	6016263,0	Pelluhue	Cancelillos_3	Privado
PP_25	664310,0	5926297,4	Hualpén	Hualpén	Estatal	PP_63	731523	6039811	Pelluhue	El carmin	Privado
PP_26	707223,5	6009906,9	Cobquecura	Quile_1	Sin antecedente	PP_64	708247,0	6014967,0	Pelluhue	RN Los queules	Estatal
PP_27	740016,5	6055333,7	Empedrado	Empedrados	Sin antecedente	PP_65	649050,0	5829832,0	Los Alamos	Cuyinco alto_1	FASA
PP_28	722570,1	6022482,9	Pelluhue	Las quilas	Sin antecedente	PP_66	649109,0	5828197,0	Los Alamos	Caramavida_1	FASA
PP_29	705851,7	6015489,4	Pelluhue	Tregualemu 2	Sin antecedente	PP_67	649071,0	5828091,0	Los Alamos	Caramavida_2	FASA
PP_30	685822,5	5923440,1	Concepción	las pataguas	Sin antecedente	PP_68	657650,0	5827377,0	Los Alamos	Pino guacho	FASA
PP_31	696059,6	5915809,9	Florida	Copilemu	Forestal Arauco SA	PP_69	681872,0	5947574,0	Tomé	tome_5	Sin antecedente
PP_32	682561,9	5931852,1	Penco	Penco	Forestal Arauco SA	PP_70	697637,1	5963068,1	Coelemu	Guay guay 1	FASA
PP_33	668381,6	5944150,3	Talcahuano	Tumbes_1	Sin antecedente	PP_71	697679,7	5963192,2	Coelemu	Guay guay 2	FASA
PP_34	696131,3	5959045,4	Tomé	El ajeno	Forestal Arauco SA	PP_72	695812,9	5963250,2	Coelemu	Guay guay 3	FASA
PP_35	690941,7	5952928,2	Tomé	Menque 1	Forestal Arauco SA	PP_73	698317,6	5963136,3	Coelemu	Guay guay 4	FASA
PP_36	687957,4	5952993,9	Tomé	Dichato	Forestal Arauco SA	PP_74	697315,0	5962710,3	Coelemu	Guay guay 5	FASA
PP_37	649234,0	5830338,0	Los Alamos	Cuyinco alto_2	Forestal Arauco SA						



- Leyenda**
- objetivo**
- genético
  - prospección
  - prospección y genético
  - subpoblaciones

Figura 10. Distribución de puntos a prospectar para análisis poblacional y genético de *G. keule* en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío.

### Validación ficha de prospección en terreno

Durante visita realizada en Quile, Región de Ñuble se aplicó la metodología de recorrido para completar la ficha de prospección 1 y 2. Se colectaron antecedentes de la población local, del paisaje y del ecosistema y con la ficha de prospección 2 se obtuvieron datos estructurales de la población de *G. keule* (Figura 11). Además, se entrevistó al propietario para complementar la información sobre las amenazas en aquella localidad (anexo 1).

Antecedentes de la población local (Ficha 2)	Especie	Localidad	Nº Individuos adultos y maduros	Altura promedio (m)	DAP promedio (cm)
	<i>G.keule</i>	Quile	188	10	12

Figura 11. Resumen de datos estructurales de la población local de *G. keule*.

### 8.3. Puntos prospectados

Del listado final de puntos priorizados en reunión del 22 noviembre 2019, 44 puntos de presencia se han prospectado a la fecha. De éstos, 26 fueron visitados con el objetivo de prospección y análisis genético, y 12 puntos sólo para fines de prospección. Adicionalmente, seis puntos fueron visitados para análisis genético (Tabla 5, Figura 12). El registro fotográfico se adjunta en formato digital (.rar).

A partir de los 38 puntos prospectados, se actualizó la base de puntos de presencia de *G. keule* que dispone el LEP. El cálculo de la extensión de la presencia (Figura 13), reveló una superficie de 4392.5 km<sup>2</sup>, indicando una reducción de un 33,3% de acuerdo con el análisis inicial. Además, el análisis *alfa hull* determinó que no existen 16 subpoblaciones como fue indicado en el primer informe, sino que son 10 las subpoblaciones distribuidas en las regiones del Maule, Ñuble y Biobío (Figura 14). De las 16 subpoblaciones, siete sufrieron modificación de sus límites, cuatro fueron eliminadas y dos son nuevas.

Tabla 5. Puntos de presencia priorizados y prospectados a enero del 2020. Datos en rojo corresponden a puntos visitados sin presencia de *G. keule*. Subpoblaciones 17 y 18 corresponden a nuevas subpoblaciones que se originan por nuevos puntos de presencia prospectados en terreno.

ID	código punto	Estado	Nº Subpoblacion	Nombre Subpoblación
0	PP 0	PAE	2	Nonguén
3	PP 3	PAE	4	Dichato-tome-lirquen
8	PP 8	PPC	6	Quile
9	PP 9	NPP	4	dichato-tome-lirquen
10	PP 10	PPC	6	Quile
11	PP 11	PPC	6	Quile
12	PP 12	PAE	4	Dichato-tome-lirquen
17	PP 17	PPC	4	dichato-tome-lirquen
18	PP 18	PPC	4	dichato-tome-lirquen
19	PP 19	PAE	4	Dichato-tome-lirquen
24	PP 24	PPC	6	Quile
25	PP 25	PPC	12	Desembocadura
27	PP 27	PAE	7	Empedrados
28	PP 28	PAE	8	Las Quilas
29	PP 29	PAE	6	Quile
31	PP 31	PAE	13	Copiulemu
33	PP 33	PPC	10	Tumbes
35	PP 35	PAE	4	Dichato-tome-lirquen
37	PP 37	PPC	16	Caramavida 1
42	PP 42	PAE	6	Quile
43	PP 43	PAE	3	Penco
45	PP 45	PIR	14	Lucay
48	PP 48	PPC	4	dichato-tome-lirquen
49	PP 49	PPC	4	dichato-tome-lirquen
50	PP 50	PPC	4	dichato-tome-lirquen
51	PP 51	PPC	2	Nonguén
52	PP 52	NPP	17	Buena esperanza
53	PP 53	PPC	4	dichato-tome-lirquen
54	PP 54	PPC	4	dichato-tome-lirquen
55	PP 55	PPC	4	dichato-tome-lirquen
56	PP 56	PPC	4	dichato-tome-lirquen
57	PP 57	PPC	6	Quile
58	PP 58	NPP	10	Tumbes
59	PP 59	NPP	10	Tumbes
60	PP 60	NPP	10	Tumbes
61	PP 61	NPP	10	Tumbes
62	PP 62	NPP	6	Quile
63	PP 63	NPP	18	El carmin
64	PP 64	PPC	6	Quile
65	PP 65	PPC	16	Caramavida 1
66	PP 66	PPC	16	Caramavida 1
67	PP 67	PPC	16	Caramavida 1
68	PP 68	NPP	1	Caramavida 2
69	PP 69	PAE	4	dichato-tome-lirquen
70	PP 70	PPC	5	Quilteu
71	PP 71	PPC	5	Quilteu
72	PP 72	PPC	5	Quilteu
73	PP 73	PPC	5	Quilteu
74	PP 74	PPC	5	Quilteu

\***NPP**: Nuevo Punto de Presencia. Corresponde a punto de presencia que no contaba con un registro previo. **PAE**: Punto Aparentemente Eliminado. Corresponde a punto de presencia reportado previamente por terceros pero que en campaña terreno no se observa la ocurrencia de la especie en un radio aproximado de 400 m. **PPC**: Punto de Presencia Confirmado. Punto informado por terceros y que en terreno se confirma la presencia de la especie. **PRT**: Punto de presencia reportado por terceros. Punto recolectado por terceros pero que no es confirmado en terreno. **PIR**: Punto de presencia irregular. Punto reportado por terceros pero que presentaba problemas de georreferenciación, identificación o inconsistencias. Este punto será excluido de la base de datos depurada. **PPE**: Punto Probablemente Extinto. Punto histórico (antes de 1970) inserto en un área sometida a intenso cambio de uso del suelo y que, por tal razón, se infiere su extinción.

Los puntos de presencia que no presentan registro fotográfico corresponden a sitios donde el sitio fue visitado y la especie no fue encontrada, por lo que se infiere que corresponde a un punto de “aparentemente eliminado”. En el caso del punto llamado Lucay, este fue visitado pero el árbol que fue determinado por los pobladores como *G. keule* correspondía a otra especie. Estos puntos fueron eliminados de la base de datos.

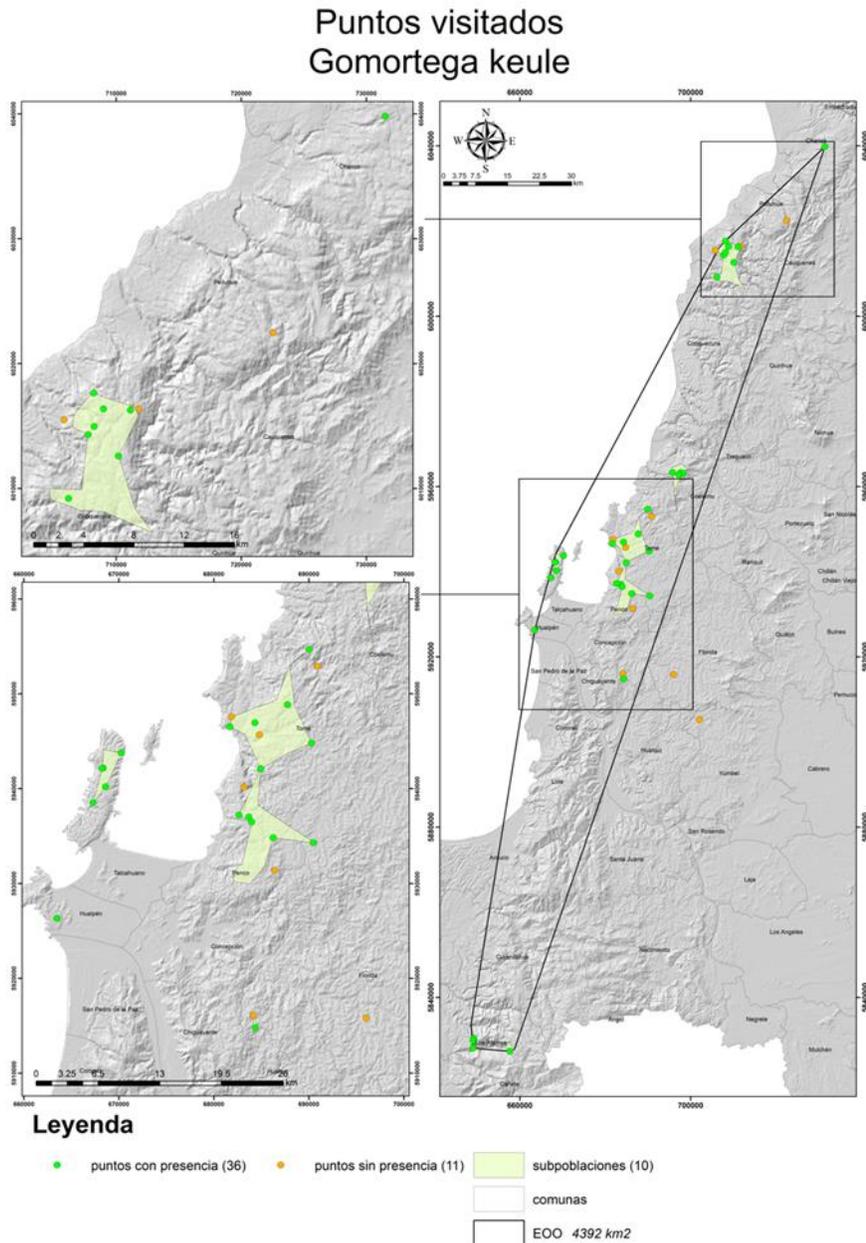


Figura 12. Distribución de puntos de presencia prospectados a enero 2020 en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. Número indica correlativo de número de presencia en base de dato. Puntos satisfactorios corresponden a puntos cuya presencia se confirma en terreno y además se llena ficha de prospección. Puntos sin presencia corresponden a puntos donde no se constata la presencia de la especie y queda como PAE (Punto aparentemente eliminado).

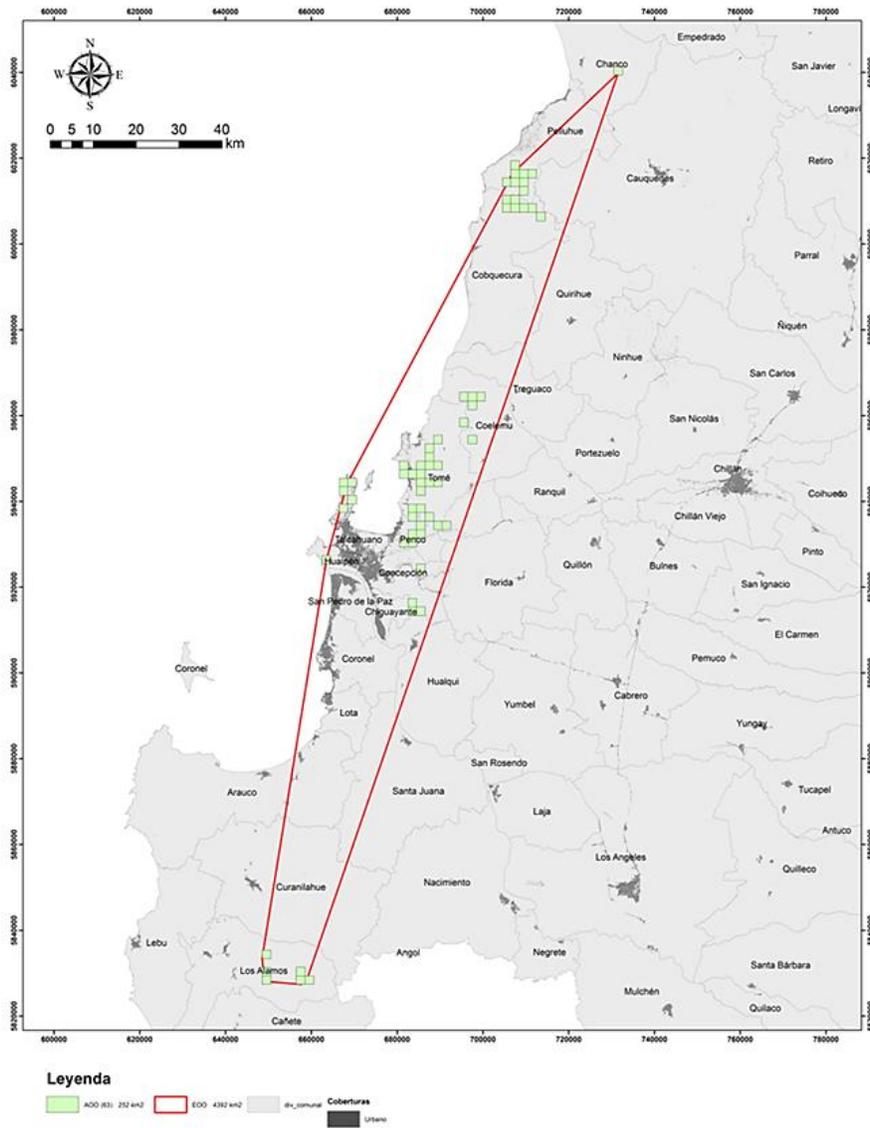


Figura 13. Extensión de la presencia y área de ocupación para la especie *G. keule* (1 km x 1 km).

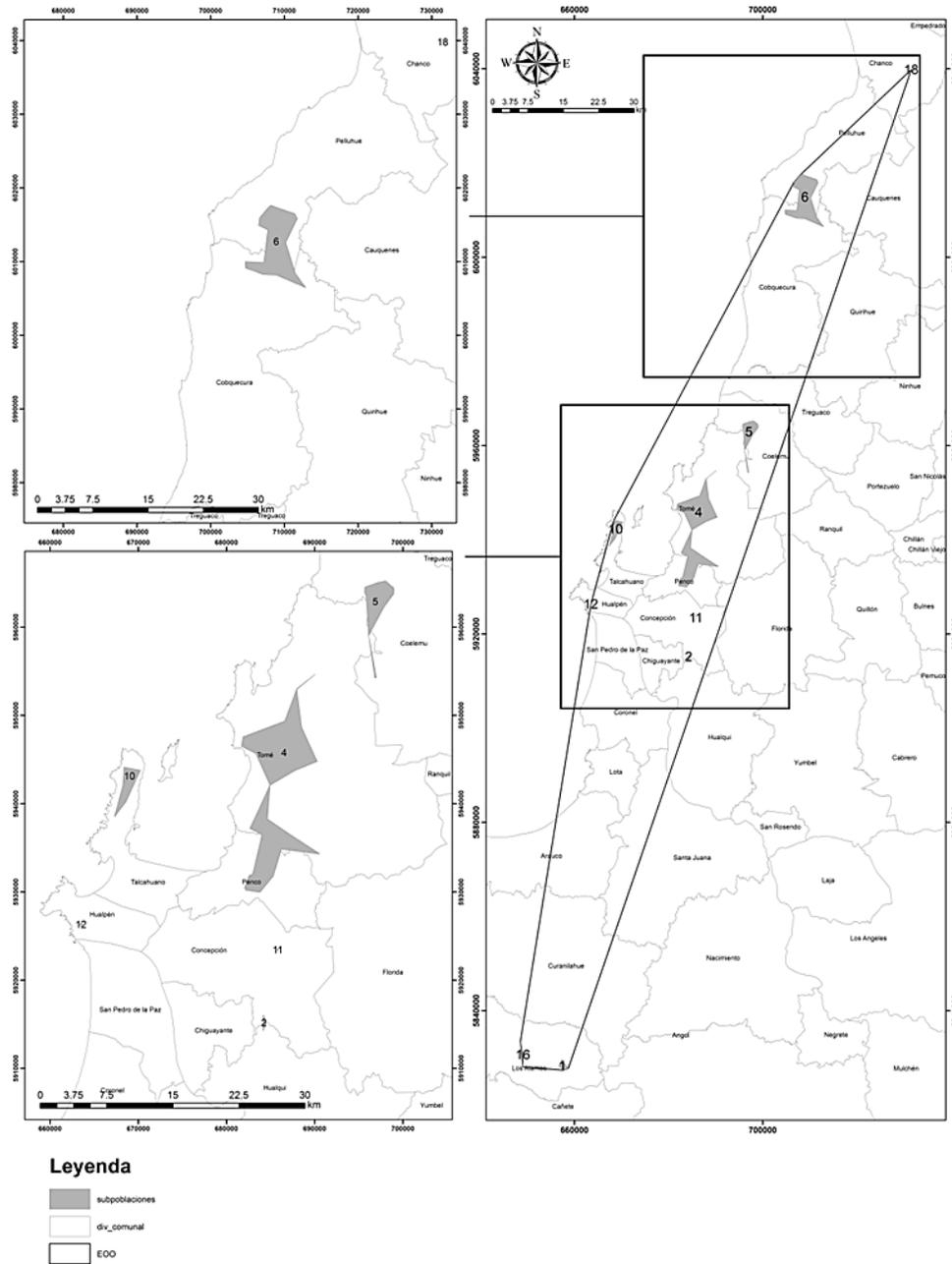


Figura 14. Nueva distribución de subpoblaciones de *G. keule* identificadas según el método de alpha hull. Polígonos en gris corresponden a la actualización de 10 subpoblaciones a partir de las prospecciones de enero 2020.

## 8.4 Caracterización de las subpoblaciones

En este ítem se agruparon los puntos de presencia prospectados por cada subpoblación. Lo anterior, tiene como objetivo resumir la información colectada en terreno, identificando los puntos de presencia más críticos (tamaño poblacional, ecosistema, amenazas etc.).

### 1. Subpoblación N° 4: Dichato- Tomé-Lirquén

Los puntos de presencia (PP) prospectados identificados en el mapa con los números 52, 53, 48, 50, 9, 55, 54, 49, 56 corresponden a una de las subpoblaciones más extensas localizada entre las comunas de Penco y Tomé. De aquí en adelante se hará referencia a las poblaciones locales como PP\_52, PP\_53, PP\_48, PP\_50, PP\_9, PP\_55, PP\_54, PP\_49 y PP\_56 (Figura 15).

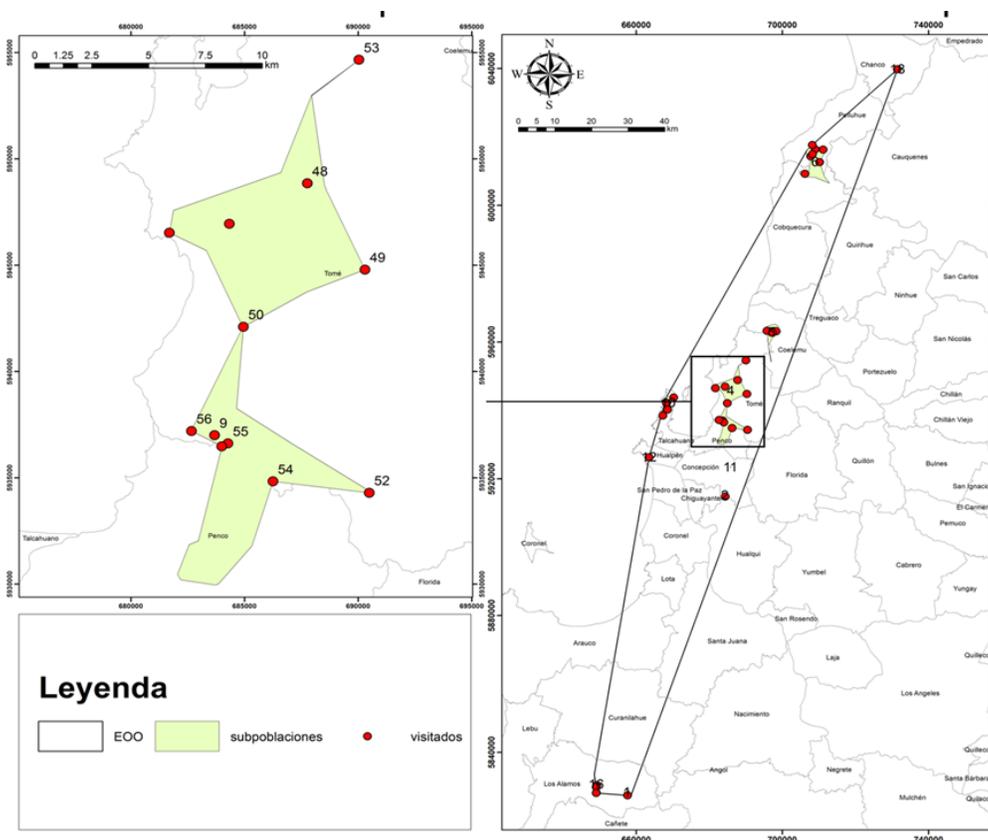


Figura 15. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 4.

### *Características del paisaje*

En más del 50% de las poblaciones locales (18, 50, 52, 55, 54, 49 y 56), los individuos de *G. keule* se encuentran en bosque nativo, bosque mixto y praderas cercanos a cursos de agua (<100m) en pendientes suaves y abruptas a una altitud que varía entre los 257 y 313 m s.n.m. El tamaño de los parches de bosque nativo donde se encuentran insertos los individuos varía entre 0,01 ha (PP\_50 y PP\_52) y 33,4 ha (PP\_56), rodeados por plantaciones forestales y superficie agrícola. Solo una población local (PP\_55) mantiene el predio con fines de conservación, el resto de los predios se utilizan con objetivos forestales y agrícolas (PP\_50, PP\_54, PP\_49 y PP\_56).

En el resto de los puntos de presencia (53, 9, 48), los individuos prospectados se encontraron en bosque nativo alejados de cursos de agua en pendientes suaves y planas a una altitud que varía entre los 307 y 398 m s.n.m. Los parches de bosque nativo tienen una superficie entre 5 a 26 ha y se encuentran rodeados por plantaciones comerciales (Pino o Eucalipto).

### *Características del ecosistema*

En términos de la estructura de la vegetación, la principal especie dominante en altura fue *G. keule*, seguida por *Aextoxicon punctatum* (olivillo) y *Persea lingue* (lingue). El porcentaje de cobertura de copas varía entre un 77% en los sitios más abiertos como en la pradera (PP\_50) y un 93% (PP\_53) en el bosque nativo. Una mayor cobertura de copas (más cerrado) indicarían menor ingreso de luz al sotobosque y una estructura vertical más compleja en comparación con sitios con el dosel más abierto.

El sitio visitado con menor complejidad respecto a la estructura vertical fue el PP\_50, presentando solo dos estratos, el arbóreo dominante y el herbáceo.

La cobertura del suelo fue baja en el PP\_50 y el PP\_9, con menos del 40% de horizonte orgánico a diferencia de los PP\_53 y PP\_55 quienes presentaron una cobertura con mayor proporción de horizonte orgánico (>60%).

Una baja presencia de árboles muertos caídos, muertos en pie y baja cobertura de los desechos leñosos se encontró en el PP\_9, esto se traduce en una menor disponibilidad de microhábitat para la fauna y una disminución de la materia orgánica en el suelo.

### *Características de la población*

La mayoría de los puntos de prospección presentan individuos maduros de *G. keule*, pero estos varían en número. El PP\_55 es la población con mayor número de individuos con un conteo de 166 árboles y presencia de regeneración (plántulas) con una extensión local de 5335 m<sup>2</sup> (Figura 16). Diferente fue lo encontrado en el PP\_54 el cual presentó solo 13 individuos en toda la extensión de presencia local equivalente a 931 m<sup>2</sup>. Todas las poblaciones locales con presencia de individuos maduros podrían dejar descendencia y permanecer en el tiempo.

En el PP\_49 se encontró una gran densidad de árboles adultos, sin embargo, el número de individuos maduros es reducido (N=29).

Con respecto al PP\_52, se identificaron 21 individuos maduros y 13 adultos, además de presentar 8 brinzales. El suelo se encontraba altamente erosionado, dado la utilización histórica del predio (agricultura). Si bien los individuos estaban dando frutos, no se observó regeneración.

Dos poblaciones locales (PP\_9, PP\_53) no presentaron individuos maduros, siendo el PP\_9 la población con la menor extensión de la presencia local (27 m<sup>2</sup>), sumado a esto el número de adultos es el más bajo (N=9), localizados bajo una plantación forestal. Por lo tanto, se infiere que esta población se encuentra fuertemente degradada.



Figura 16. Germinación de semilla de *G. keule* en el PP\_55.

### Amenazas

Las amenazas directas que ocurren en la mayoría de los sitios (predios), son la extracción de frutos, tala de árboles y los incendios por plantaciones forestales aledañas.

En el PP\_52 y PP\_17 la principal amenaza es el floreo (corta de la especie) y la extracción de frutos, informada por el propietario.

La presencia de especies invasoras es recurrente en la extensión de la presencia local de *G. keule*. Tales son los casos de los puntos PP\_9 (pino), PP\_50 (eucalipto y zarza), PP\_52 (zarza) PP\_54 (zarza), PP\_49 (rosa mosqueta) y PP\_56 (zarza). Sin embargo, en todos los casos el porcentaje de cobertura es reducida (10-30%).

La presencia de ganado (ramoneo) no es una amenaza recurrente y se evidenció únicamente en los puntos PP\_54 y PP\_49 a través del número de senderos (>5) y del número de bostas encontrados (>5).

Otras amenazas identificadas fueron la cercanía a centros poblados y los proyectos de gran envergadura. Tales amenazas pueden tener un impacto negativo sobre los bosques con presencia de *G. keule*. Tales son los casos del PP\_53, el cual se encuentra cercano a la localidad de Menque, Dichato (<1 km), el PP\_48 ubicado cerca de una estación de telecomunicaciones en el Cerro Neuque (<1 km) (Figura 17) y el PP\_54 el cual se encuentra cercano a la planta piloto El Cabrito Bio lantánidos Minera (aprox. 3.6 km).



Figura 17. Antenas ubicadas en el cerro Neuque, Tomé

## 2. Subpoblación\_10: Tumbes

En esta subpoblación se encuentran los puntos de presencia (PP) número 33 y número 58 (Figura 9) ubicados en Tumbes en la comuna de Talcahuano. De aquí en adelante se hará referencia a las poblaciones locales como PP\_33, PP\_58, PP\_59, PP\_60 y PP\_61 (Figura 18).

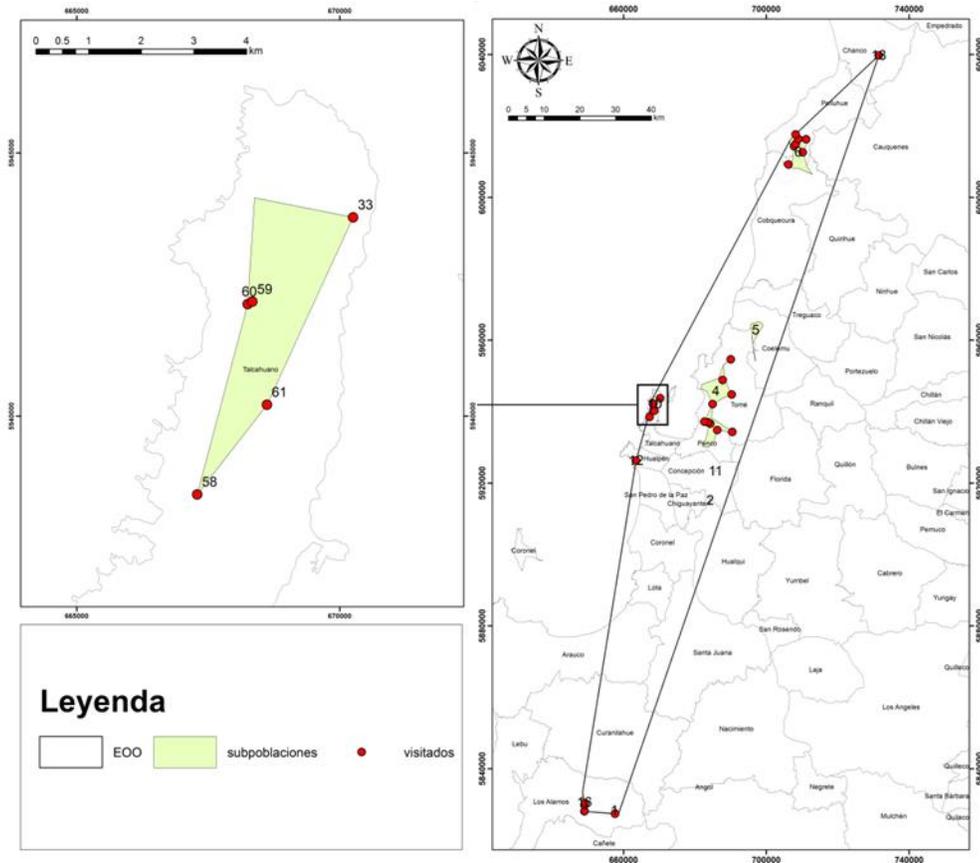


Figura 18. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 10.

### Características del paisaje

Los individuos de *G. keule* se encuentran en propiedad fiscal (Armada) y están presentes en parches de bosque mixto (33, 60 y 61) y plantación forestal (58), únicamente la población local PP\_59 habita en bosque nativo. En las poblaciones locales PP\_33, PP\_58 y PP\_61, los individuos se encuentran alejados de cursos de agua y se concentran en pendientes suaves y abruptas a una altitud que varía entre los 76 y 108 m s.n.m son cercanos a los cursos de agua y en quebradas se encuentran los individuos de PP\_59 y PP\_60 a una altitud inferior que el resto de las poblaciones locales.

Los parches de bosque mixto tienen un tamaño entre los 0,05 y 4,3 ha, el de bosque nativo de 4,4 ha y la superficie del parche de plantación forestal es el más grande con una superficie de 25 ha. Todos los parches antes mencionados se encuentran rodeados por plantaciones forestales.

### Características del ecosistema

La estratificación vertical de las comunidades con *G. keule* es simple, compuesta por tres estratos vegetales (arbóreo dominante, arbustivo y herbáceo) en el caso del PP\_33 y solo un estrato (arbóreo dominante) en el PP\_58. Las poblaciones locales cercanas a los cursos de agua presentan una estratificación más compleja evidenciándose todos los estratos vegetales (PP\_59 y PP\_60). En la mayoría de las poblaciones locales la cobertura del dosel es baja, encontrándose todo lo contrario en el PP\_61, donde la presencia de individuos de gran altura de *Pinus radiata* generan una cobertura del dosel del 100%.

La especie dominante en PP\_33 y PP\_58 es *G. keule* y *Aristotelia chilensis* (maqui) a diferencia de las otras poblaciones locales donde la primera especie dominante fue *Pinus radiata* y la segunda fue *G. keule* (PP\_61) y *Aextoxicon punctatum* (PP\_60). Cabe mencionar, que en las cercanías de los individuos de PP\_60 se encontraron árboles de la especie amenazada *Citronella mucronata*.

La cobertura del suelo en PP\_33 y PP\_58 presenta entre un 40 a 60% de horizonte orgánico en toda la extensión de la presencia de la especie. Sin embargo, en el PP\_58, los árboles muertos en pie y caídos es bajo y los desechos leñosos en el suelo cubren menos del 25%. Lo contrario ocurre en el resto de las poblaciones locales donde la cobertura del suelo es alta, presentando más del 60% del suelo con horizonte orgánico.

### Características de la población

En cuatro de las poblaciones locales (33, 58, 59,60) existen individuos maduros de *G. keule*, pero el número es reducido (Figura 19). En el PP\_61 solo se encontraron individuos adultos. En todas las poblaciones locales no se observó regeneración por semilla. El PP\_58 fue la población local que presentó el número más bajo de individuos maduros (N=11) y sin presencia de brinzales.



Figura 19. Imágenes de individuos maduros de *G. keule* en la subpoblación de Tumbes.

### Amenazas

Las principales amenazas directas en PP\_33 y PP\_58 son la evidencia de corta de los individuos de *G. keule* y los incendios (Figura 20). En las otras poblaciones locales, las amenazas son los incendios forestales por encontrarse rodeados de plantaciones forestales y la presencia de especies exóticas (retamilla y pino) con una cobertura del 50%. En ambos puntos no hay presencia de ganado, pero existen senderos donde la población puede acceder causando un futuro daño a la especie.



Figura 20. Troncos cortados de *G. keule* y la regeneración vegetativa en el PP\_33.

### 3. Subpoblación 12: Desembocadura Rio Biobío

En la Comuna de Hualpén, se prospectó un único punto prioritario que corresponde a la población local número 25. De aquí en adelante se hará referencia a la población local como PP\_25 (Figura 21).

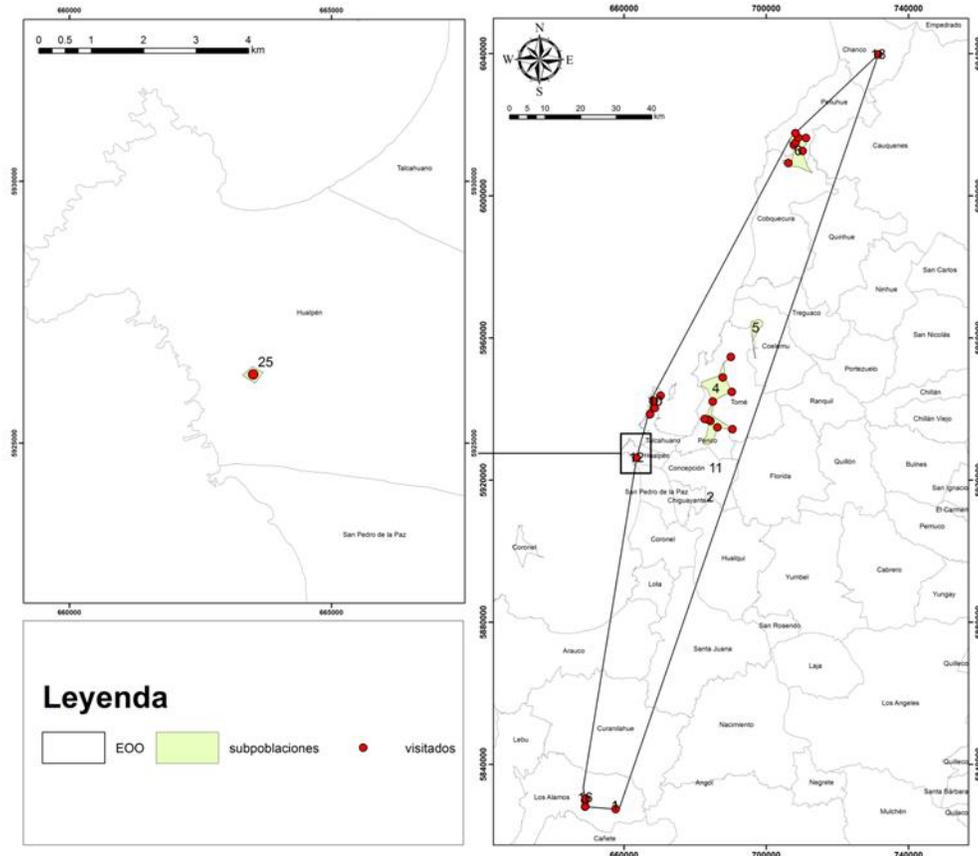


Figura 21. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 12.

#### Características del paisaje

Los individuos de *G. keule* se encuentran insertos en un parche de bosque nativo de 39 ha en la Estación de Biología Terrestre de la Universidad de Concepción (Santuario de la Naturaleza), ubicado en el Parque Hualpén. Concepción. Los árboles se encuentran ubicados en la parte alta de una quebrada suave que desemboca en un cuerpo de agua y se concentran en una pendiente suave a una altitud de 53 m s.n.m.

#### Características del ecosistema

Al encontrarse los individuos en un bosque nativo bien conservado, la estructura de la vegetación es compleja al presentar todos los estratos (arbóreo dominante, arbóreo intermedio, arbustivo, herbáceo). La principal especie dominante en altura fue *C.alba* (peumo) seguida por *A.puncatum* y *P. boldus* (boldo). El porcentaje de cobertura de copas de los árboles presentes es alta es decir cubren sobre el 50%.

La cobertura del suelo es alta, lo que significa que presenta sobre el 60% de horizonte orgánico en toda la extensión de la presencia local de la especie, sumado a un alto porcentaje de desechos leñosos. El número de los árboles muertos caídos y muertos en pie alto es bajo, con alrededor de 1-5 árboles.

#### *Características de la población*

La extensión de la presencia local es reducida midiendo alrededor de 9 m<sup>2</sup>, donde se registraron solo cuatro individuos maduros de grandes dimensiones en diámetro y altura, en buenas condiciones fitosanitarias, además de 10 brinzales de *G. keule*. Se apreció la presencia de frutos en el suelo, sin embargo, no se observó regeneración por semilla, solo vegetativa 4 individuos maduros.

#### *Amenazas*

La presencia de amenazas directas es reducida a nula en esta subpoblación. El sitio presenta una baja degradación debido a que es un Monumento Nacional de Chile, categorizado como “Santuario de la Naturaleza” (Figura 22). No se observó ningún tipo de disturbio en el sitio, es decir ausencia de ramoneo, floreo, evidencia de fuego y especies vegetales exóticas.

Esta subpoblación, junto a la de tumbes corresponden a las subpoblaciones del límite oeste a escala nacional, por lo que la conservación de estos puntos de presencia es relevante para no aumentar el riesgo de extinción de la especie.



Figura 22. Borde del parche de bosque nativo donde se encuentran insertos los individuos de *G. keule*.

#### 4. Subpoblación N° 6: Quile

Entre las comunas de Cobquecura y Pelluhue se prospectaron los puntos de presencia (PP) números 57, 8, 10, 24, 62, 11 y 64 (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a las poblaciones locales como PP\_57 PP\_8, PP\_10, PP\_24, PP\_62, PP\_11 y PP\_64 (Figura 23).

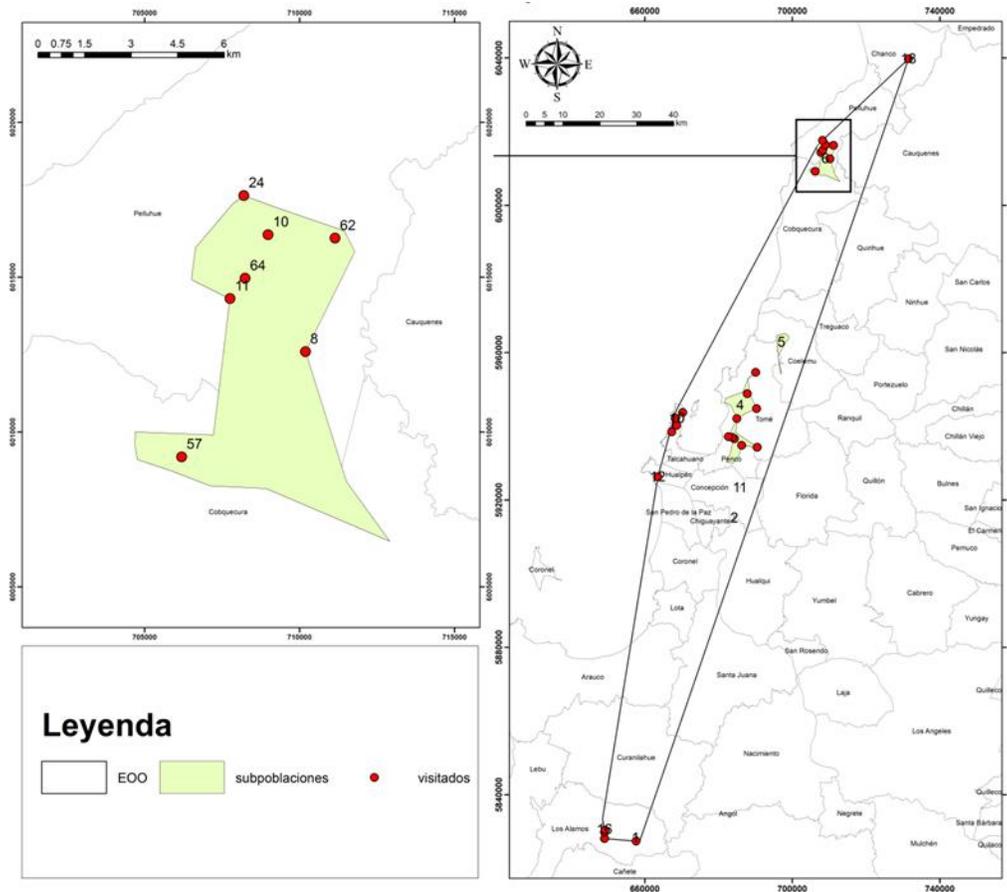


Figura 23. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 6.

#### Características del paisaje

La totalidad de las poblaciones locales se encuentran en propiedad privada con la excepción del PP\_64 el cual corresponde al SNASPE.

Los individuos prospectados de *G. keule* se encuentran en parches de bosque mixto (57, 8, 24, 62), plantación forestal (10 y 11) y bosque nativo (64). El tamaño de los parches de bosque nativo donde se encuentran los individuos varía desde 0,61 ha hasta 384 ha. Cabe mencionar que los individuos de PP\_11 no están insertos en parches de bosque nativo.

En el 86% de las poblaciones locales, los individuos se encuentran alejados de los cursos de agua y solo en el PP\_62 los árboles se encuentran cerca de algún curso de agua en sitios con pendientes suaves y planas. Todas las poblaciones prospectadas superan los 486 m s.n.m.

### *Características del ecosistema*

La estratificación vertical de las comunidades con presencia de *G. keule* es compleja, ya que están compuestas por tres a cuatros estratos (arbóreo dominante, arbóreo intermedio arbustivo y herbáceo), con una cobertura media del dosel. La especie dominante en cinco poblaciones locales fue *Nothofagus obliqua* (Roble), seguida por *N. glauca* (hualo) (8 y 10), *G. keule* (57 y 64), *Peumus boldus* (boldo) (24 y 11) y *Drimys winteri* (62).

La cobertura del suelo es baja a media en la mayoría de las poblaciones locales con la excepción del punto en la Reserva Nacional los Queules donde la cobertura del horizonte orgánico es alta (>60%). Con respecto al número de árboles muertos caídos y muertos en pie, estos valores son bajos en el PP\_10, PP\_24, PP\_62 y PP\_11, infiriéndose que estos sitios presentan algún grado de degradación y menor riqueza de especies vegetales. Ocurre algo similar con el indicador de desechos leñosos en el suelo, donde la cobertura es baja a media.

### *Características de la población*

En cuatro poblaciones locales se registraron individuos maduros de *G. keule* y solo en PP\_57 y PP\_64 se encontró presencia de regeneración por semilla, en este último punto se encontraron gran cantidad de individuos maduros semilleros en buenas condiciones fitosanitarias. Los atributos ecológicos indican una buena calidad de hábitat, por lo que es relevante conservar este remanente de bosque nativo para asegurar la persistencia de la especie en el sector.

En PP\_8, PP\_10 y PP\_62 se identificaron únicamente individuos adultos con un alto número de brinzales (Figura 24). En PP\_57 se observó que un gran porcentaje de los árboles presentaron un leve problema fitosanitario el cual debe ser investigado.

### *Amenazas*

En la mayoría de las poblaciones locales la principal amenaza son los incendios y la presencia de especies invasoras (pino, eucalipto y zarzamora) debido a la matriz forestal que los rodea.

Específicamente en el PP\_8 se evidenció la falta de agua y, producto de ello, la muerte de una cantidad considerable de individuos de *G. keule* e individuos con signos evidentes de fustes o ramas muertas. Este punto de prospección corresponde a un vértice del polígono de la subpoblación N°6, por lo que su conservación es de relevancia para no aumentar el riesgo de extinción de la especie.

Con respecto al PP\_10, los individuos se encuentran bajo plantación de pino y otros aislados en un área recién cosechada. La exposición directa al sol es una de más amenazas más evidentes, además del efecto del viento, que generó la caída de algunos individuos adultos (observación inferida). El uso intensivo de la matriz podría generar un efecto negativo a largo plazo, debido a las talas razas sin considerar algún buffer de protección para la especie.

En el PP\_62 Se observó el impacto de una línea de transmisión eléctrica que afectó directamente algunos individuos de *G. keule* en los que se observó una tala total o parcial de los fustes.

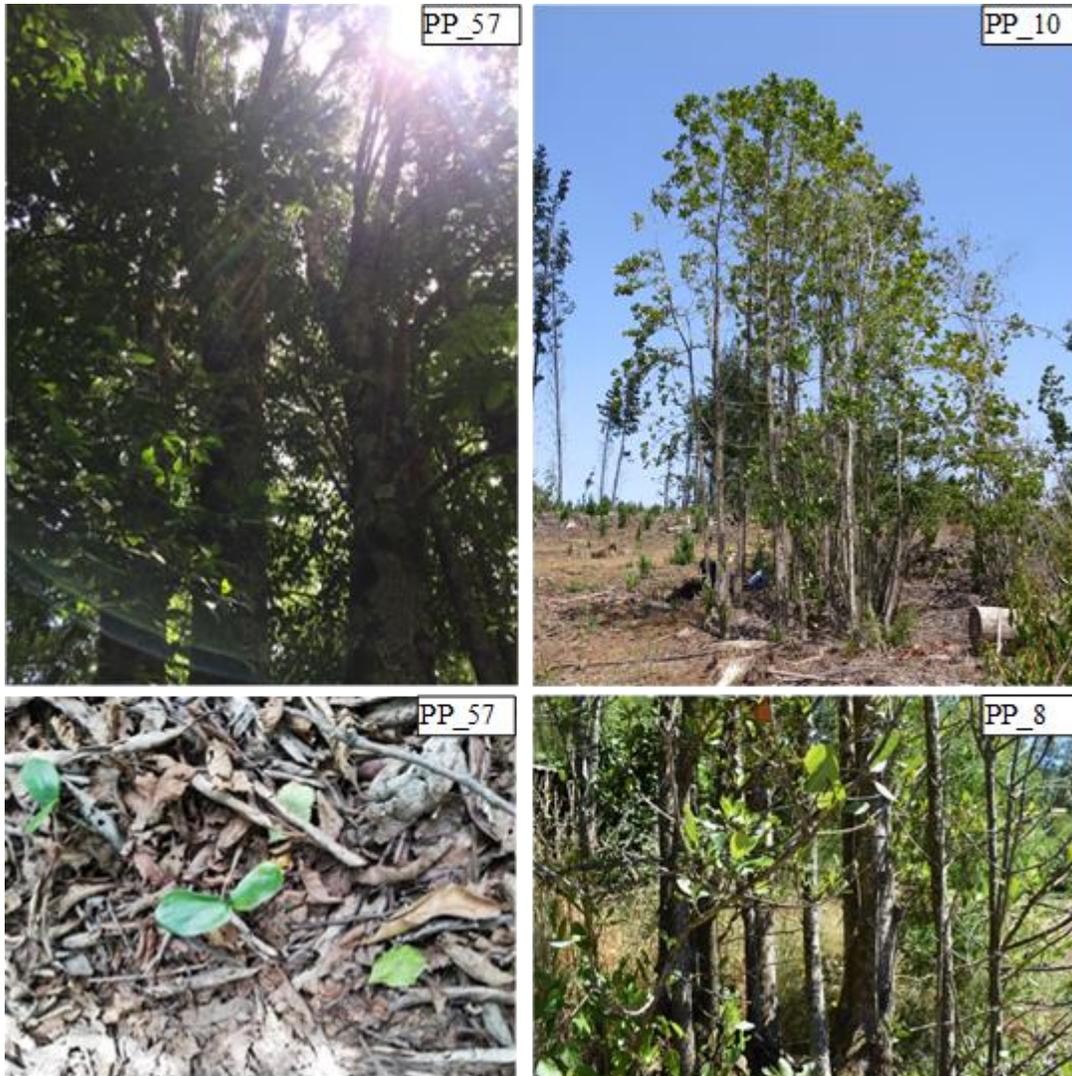


Figura 24. Individuos adultos de *G. keule* y regeneración en PP\_57 (Quile). Individuos de *G. keule* en sitios degradados en PP\_10 (Salto del Agua) y PP\_8 (Ramadillas).

### 5. Subpoblación N° 18: El Carmín

En la comuna de Chanco se genera una nueva subpoblación de acuerdo con el método alfa hull, correspondiente al punto de presencia (PP) número 63 (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a la población local como PP\_63 (Figura 25).

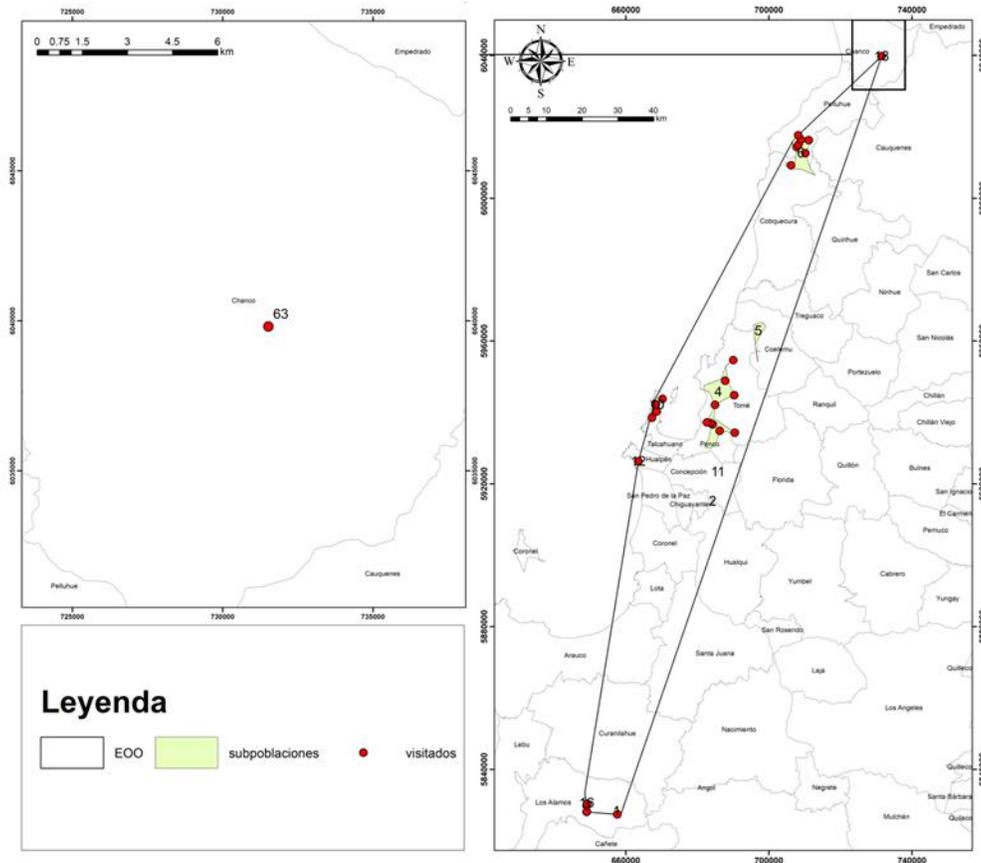


Figura 25. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 18.

#### Características del paisaje

La población local se encuentra en propiedad privada, en un parche de plantación forestal con una reducida superficie de bosque nativo de 0,2. El parche se encuentra rodeado por grandes superficies de plantaciones forestales. Los individuos se encuentran en el fondo de una quebrada, cercanos a un curso de agua a una altitud de 417 m s.n.m.

#### Características del ecosistema

La estructura vertical de la comunidad vegetal es compleja constituida por cuatro estratos (arbóreo dominante, arbóreo intermedio, arbustivo y herbáceo), aun así, el porcentaje de cobertura de copas es medio (25-50%). El sotobosque está compuesto por especies trepadoras, helechos y herbáceas indicadoras de mayor humedad. La especie dominante en la comunidad fue *P. radiata*, seguida por *N. glauca* y *G. keule*.

La cobertura del suelo es baja, con menos del 25% de horizonte orgánico, registrándose además bajo número de árboles muertos en pie y muertos caídos. La cobertura de desechos leñosos finos y gruesos es baja (Figura 26).



Figura 26. Estratificación vertical en la comunidad con individuos de *G. keule*.

### Características de la población

La extensión de la presencia local mide alrededor de 42 m<sup>2</sup>, donde se registraron 20 individuos maduros y 26 brinzales de *G. keule* (Figura 27). La población local no presenta regeneración por semilla. Este punto corresponde al punto más al norte confirmado de la distribución nacional de *G. keule*. Por lo que representa a uno de los puntos de mayor interés y relevancia para la conservación de la especie.



Figura 27. Individuos de *G. keule* en la localidad de Chanco.

## Amenazas

Las principales amenazas son los incendios al encontrarse los individuos rodeados por plantaciones forestales y la presencia de especies invasoras como el *P. radiata* supera el 50% de la cobertura. A lo anterior, se suma el cambio climático, donde el aumento de las temperaturas podría afectar de forma negativa los individuos de *G. keule* en comparación con la subpoblación que se encuentran al sur de la extensión de la presencia.

### 7. Subpoblación N° 16: Caramavida 1

En la comuna de Los Álamos se encuentra la localidad de Caramavida donde se prospectaron los puntos de presencia (PP) números 37, 65, 66 y 67 (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a las poblaciones locales como PP\_37 PP\_65, PP\_66, PP\_67 (Figura 28).

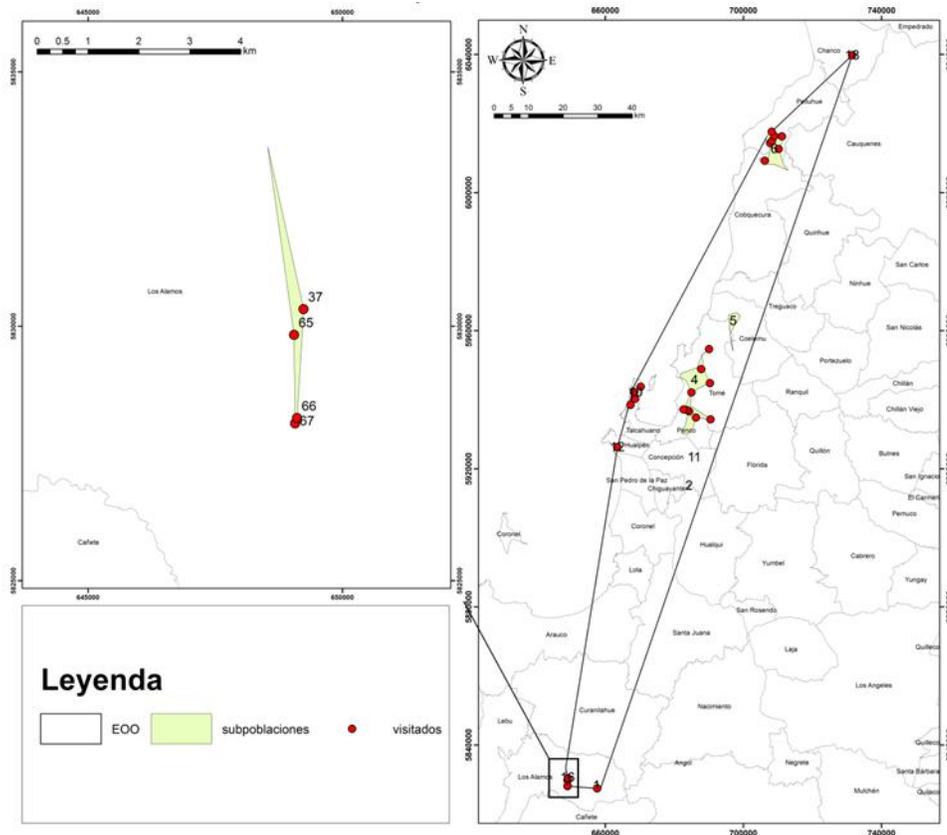


Figura 28. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 16.

### Características del paisaje

La totalidad de las poblaciones locales se encuentran en propiedad privada (empresa forestal) encontrándose en parches de bosque mixto (37 y 65), plantación forestal (67) y bosque nativo (66). El tamaño de los parches de bosque nativo donde se encuentran los individuos es reducido variando desde 0,1 ha hasta 1,6 ha. Cabe mencionar que los individuos del PP\_67 se encuentran insertos en un parche de plantación forestal sin dominancia de bosque nativo.

Los individuos que se encuentran en los parches de bosque mixto y en plantación forestal se encuentran alejados de cursos de agua sobre los 478 m s.n.m, a diferencia de los individuos en bosque nativo donde están presentes en el fondo de una quebrada cerca de un curso de agua a 238 m s.n.m.

### *Características del ecosistema*

En términos de la estructura vertical de la comunidad vegetal, todas las poblaciones locales son complejas, ya que están compuestas por tres a cuatro estratos (arbóreo dominante, arbóreo intermedio arbustivo y herbáceo). La cobertura de copas varía en cada población local, siendo baja en PP\_37 y PP\_65 (<25%), media en PP\_67(25-50%) y alta en PP\_66 (>50%) correspondiente a bosque nativo mejor conservado. Las especies dominantes también varían según la población prospectada, en PP\_65 y PP\_67 es *Pinus radiata*, en PP\_37 es *G. keule* y en PP\_67 es *N. obliqua*.

La cobertura del suelo en los parches con plantación forestal es baja a diferencia de las poblaciones locales que se encuentran en bosque mixto o bosque nativo donde el horizonte orgánico cubre más del 60% de la extensión de la presencia local.

Con respecto al número de árboles muertos en pie y muertos caídos, el PP\_37 presentó los valores más bajos en comparación con el resto de las poblaciones locales. La cobertura de desechos leñosos finos y gruesos es relativamente alta en todos los puntos de presencia (Figura 29).

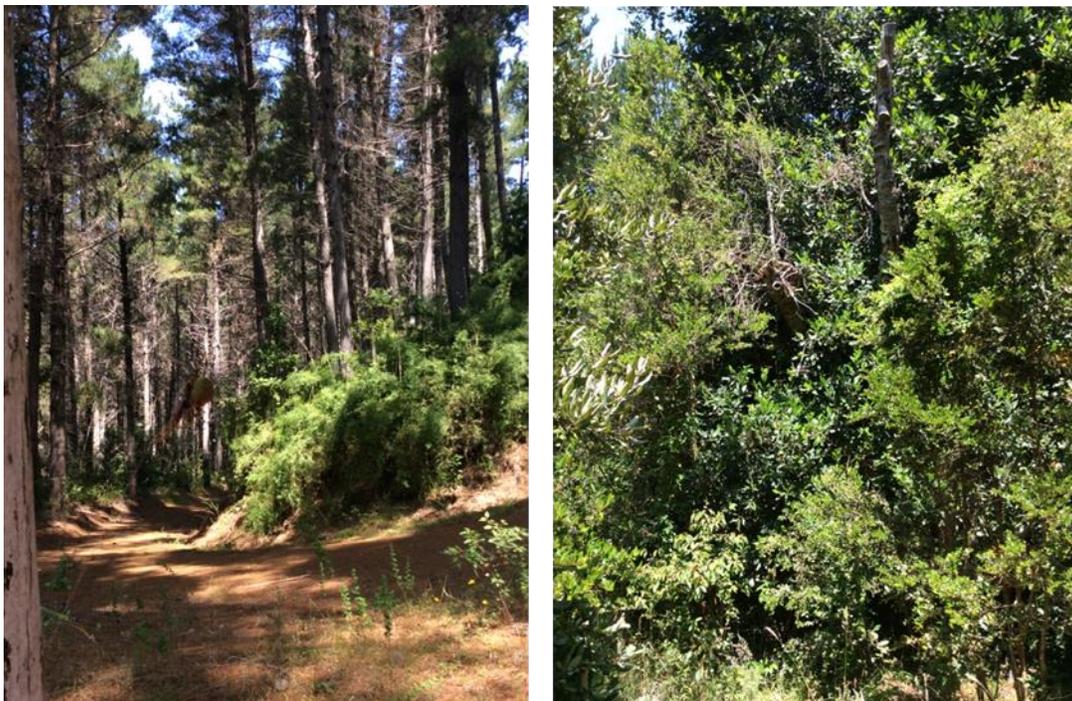


Figura 29. Bosque mixto (Plantación forestal y bosque nativo) donde se encuentran los individuos de *G. keule* en el PP\_37.

### Características de la población

En tres poblaciones locales se registraron individuos maduros de *G. keule*, sin embargo, el número es reducido en comparación a puntos de presencia de otras subpoblaciones (ej. Dichato-Tome-Lirquén).

El PP\_37 corresponde a un Área de alto valor de conservación de Forestal Arauco S.A. Si bien los individuos parecían estar en buenas condiciones fitosanitarias, estaban ubicados en un área abierta rodeada por una matriz forestal.

En el PP\_65 solo se registraron 3 individuos maduros con gran cantidad de rebrotes y un alto número de brinzales. Por otra parte, en el PP\_67 se registraron únicamente individuos adultos con un bajo número de brinzales. Ninguna población local presenta regeneración por semilla.

### Amenazas

La principal amenaza de todas las poblaciones locales prospectadas son los incendios, esto se debe a que los individuos se encuentran en un pequeño remanente de bosque nativo rodeados por una matriz de plantación forestal. Además, la presencia de especies invasoras (retamilla y zarza) ocurre en todas las poblaciones prospectadas con una cobertura entre el 20 y 80%.

### 8. Subpoblación N° 1: Caramavida2

En la comuna de Los Álamos se genera una nueva subpoblación de acuerdo con el método alfa hull, correspondiente al punto de presencia (PP) número 68 (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a la población local como PP\_68 (Figura 30).

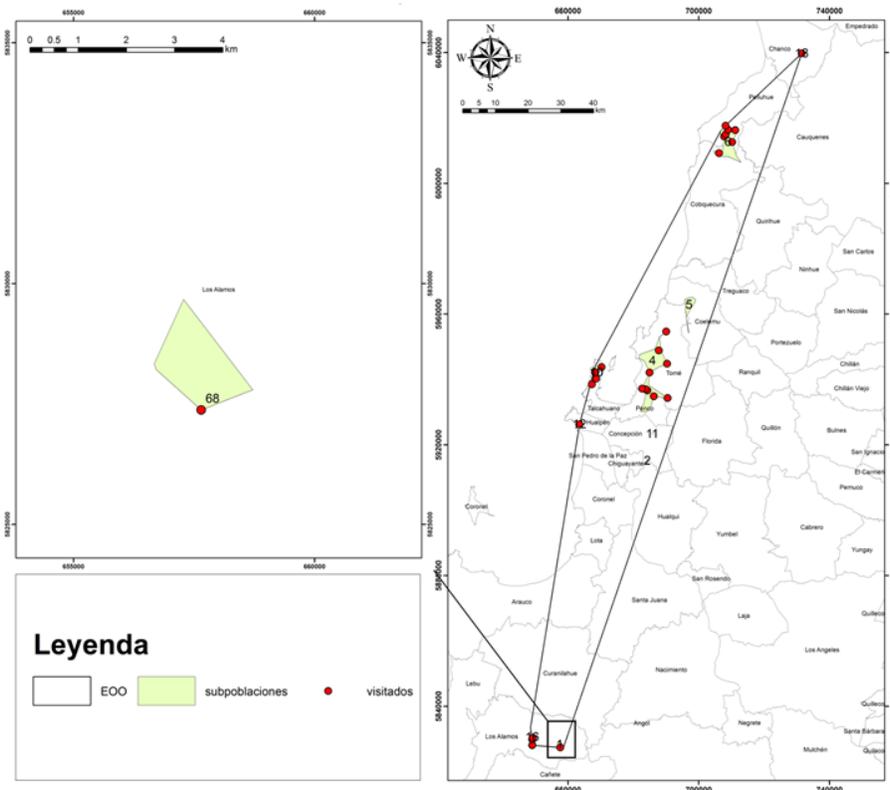


Figura 30. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación 1.

### *Características del paisaje*

La población local se encuentra en propiedad privada (empresa forestal) en un parche de plantación forestal, donde no hay presencia de bosque nativo.

Los individuos se encuentran en terreno plano, alejados de cursos de agua a una altitud de 672 m s.n.m.

### *Características del ecosistema*

Los individuos de *G. keule* al encontrarse inserto en una plantación forestal, se encuentran rodeados de *Pinus radiata*, con una baja cobertura de copas. La estructura vertical es simple debido al monocultivo de pino de una misma altura. No hay presencia de sotobosque, posiblemente por la cantidad de luz que entra.

La cobertura del suelo es nula y se registra bajo porcentaje de horizonte orgánico. No se registran árboles muertos en pie y muertos caídos. La cobertura de desechos leñosos finos y gruesos es baja.

### *Características de la población*

Se encontró una gran cantidad de individuos adultos formando agrupaciones de alta densidad desprovistos de vegetación nativa, rodeados por un área recién cosechada en una matriz forestal (Figura 31). La extensión de la presencia local mide alrededor de 45 m<sup>2</sup>, donde se registraron 32 individuos maduros y 65 brinzales de *G. keule*. La población local no presenta regeneración por semilla.

Este punto representa un área de interés para la conservación de *G. keule* ya que corresponde al punto más al sur de la distribución de la especie a nivel nacional, junto con el PP\_66.



Figura 31. Individuos de *G. keule* expuestos a la luz sin protección de especies nativas acompañantes.

### *Amenazas*

La principal amenaza que presentan los individuos de *G. keule* son los incendios al encontrarse insertos en una plantación forestal.

### 9. Subpoblación N° 5: Quilteu

En la comuna de Coelemu se encuentra la localidad de Quilteu, donde se prospectaron los puntos de presencia (PP) números 70, 71, 72, 73 y 74 (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a las poblaciones locales como PP\_70, PP\_71, PP\_72, PP\_74 (Figura 32).

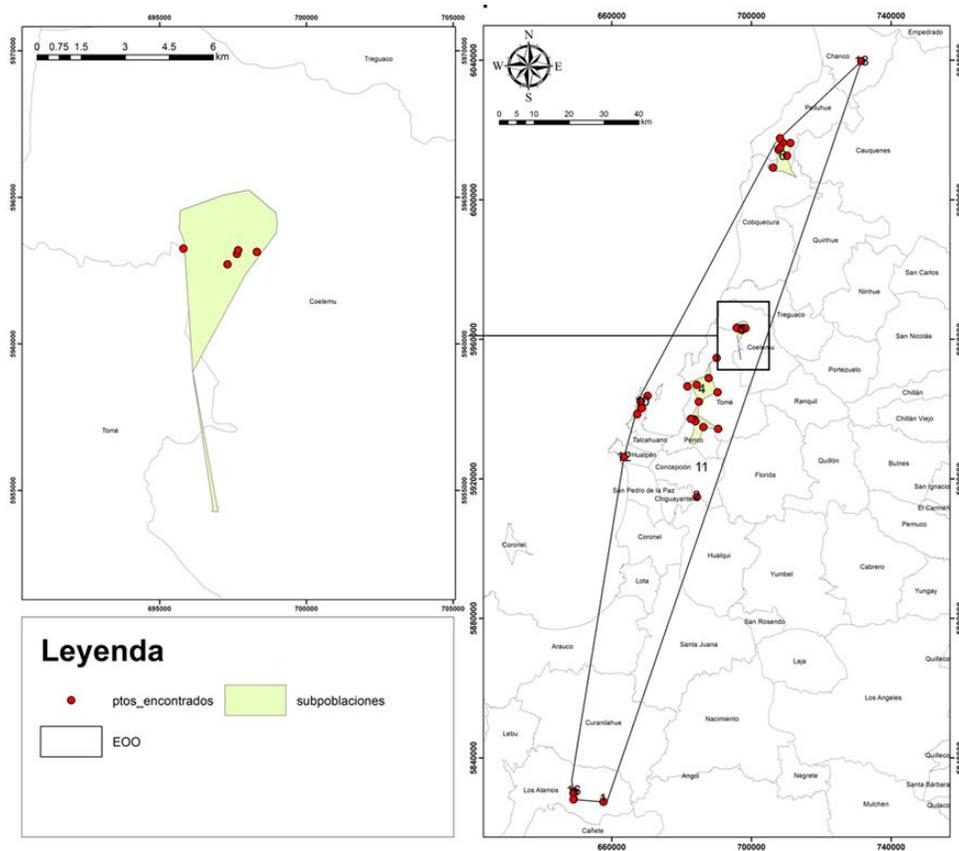


Figura 32. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación N° 5.

#### Características del paisaje

La totalidad de las poblaciones locales se encuentran localizados en plantaciones forestales (70,71, 72 y 74) de la empresa Arauco S.A y en un parche de bosque nativo (73), el cual pertenece a otro privado. Los individuos de *G. keule* crecen en rodales de eucalipto y pino con pendientes entre 10-30%. El parche de bosque nativo tiene una superficie de 32,5 ha y los individuos se encuentran creciendo en sitios planos. Todos los puntos de presencia están alejados de cursos de agua (>100 m).

#### Características del ecosistema

Los individuos de *G. keule* al encontrarse insertos en una plantación forestal, se encuentran rodeados de *Eucaliptus globulus* y *Pinus radiata*, con una baja cobertura de copas. La estructura vertical es simple dominado las especies comerciales con altura aproximada de 25 metros y debajo de estas crecen la especie *Persea lingue* y *Aristotelia chilensis*. La riqueza nativa del sotobosque es baja encontrándose principalmente especies trepadoras y herbáceas. El avistamiento de aves fue reducido al igual que el sonido de estos. La cobertura del suelo presenta entre un 25 a 50% de horizonte

orgánico. Sin embargo, la principal composición de la hojarasca corresponde a la especie exótica *E. globulus* y a un gran porcentaje de restos leñosos finos y gruesos. La presencia de árboles caídos muertos es baja (Figura 33)

El PP\_73 al encontrarse en un parche de bosque nativo la estructura vertical es más compleja presentando un estrato dominante, intermedio, arbustivo y herbáceo. Sin embargo, este parche presenta individuos asilvestrados de *P. radiata* el cual domina en el dosel, seguido por la especie *G. keule* y *N. obliqua* (Figura 33). El sotobosque presenta una mayor riqueza de especies a diferencia de lo encontrado en plantaciones forestales, en él se observó la presencia de distintas formas de vida como trepadoras, helechos, epifitas y herbáceas. La cobertura del suelo presenta más del 50% de horizonte orgánico.



Figura 33. Ecosistema donde se encuentran insertos los individuos de *G. keule*. (a) individuo de queule y (b) estructura vertical y cobertura del suelo en el punto de presencia 70.

#### *Características de la población*

En los rodales de eucalipto y pino se encontró un número considerable de individuos adultos y brinzales con una altura promedio de 3 m y un DAP promedio de 3,5 cm. La extensión de la presencia local de los individuos de *G. keule* en los rodales varía entre 114 m<sup>2</sup> (PP\_74) y los 53.172 m<sup>2</sup> (PP\_71). Sin embargo, en el PP\_70 se registró el mayor número de individuos con 71 árboles adultos sin la presencia de individuos maduros y 266 brinzales. En el PP\_72 se encontraron seis individuos adultos aislados a orilla de una plantación de pino el cual presentaba solo dos individuos maduros. En el PP\_71 se encontraron siete plántulas de 40 cm aproximadamente por lo tanto se infiere que el sitio cumple con ciertas condiciones para que ocurra la regeneración por semilla (Figura 34)

En el parche de bosque nativo (PP\_73) se encontraron 43 individuos adultos y todos en estado maduro, con una altura promedio de 7 m y un DAP promedio de 12,5 cm. Sin embargo, no se observó regeneración por semilla.

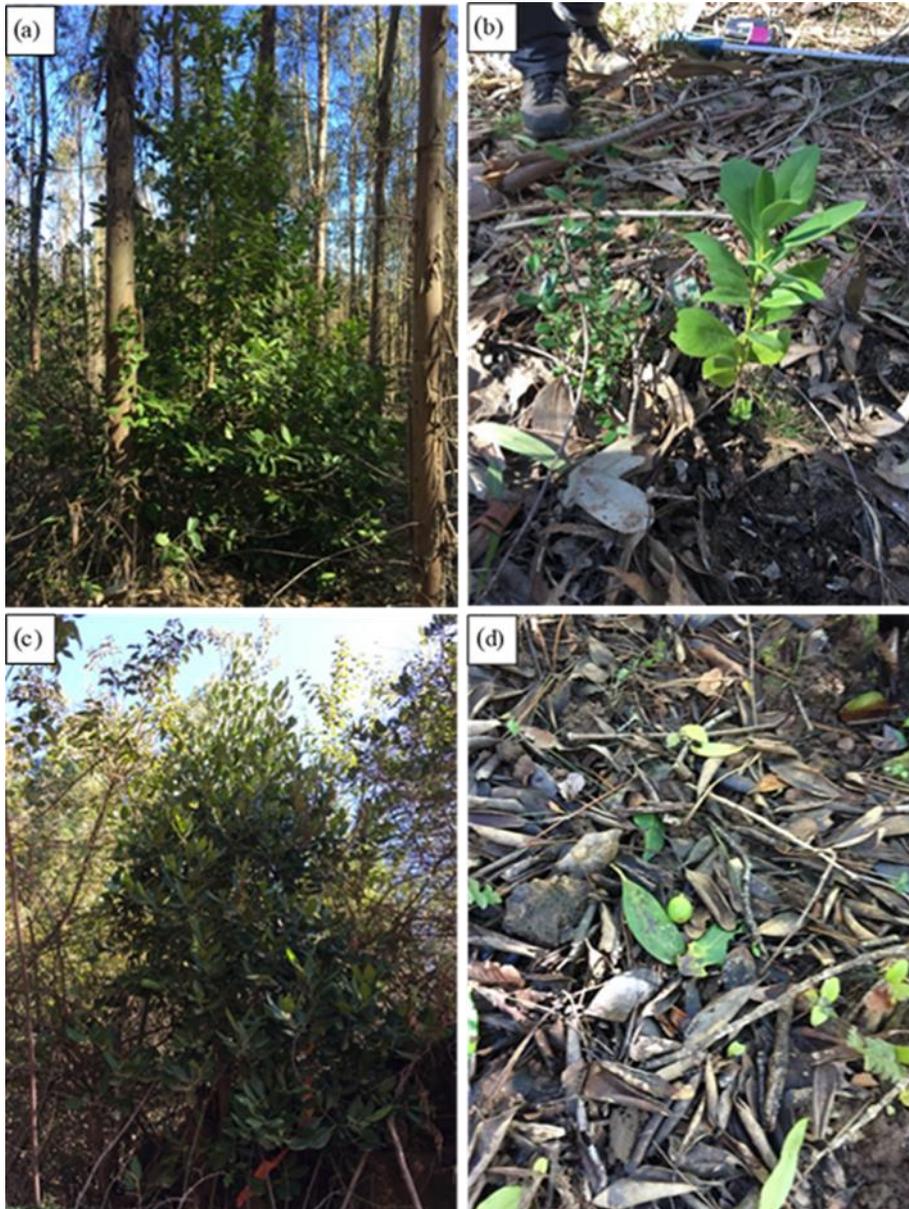


Figura 34. Distintos estados de *G. keule* en los distintos puntos de presencia. (a) Individuo adulto en el PP\_70, (b) Plantula de *G. keule* en PP\_71, (c) Individuo de *G. keule* maduro y aislado y (d) Frutos de individuos de *G. keule* en PP\_73.

### Amenazas

La principal amenaza que presentan los individuos de *G.keule* son los incendios, ya que se observaron restos leñosos quemados en los puntos de presencia que se encuentran insertos en plantaciones forestales (Figura 35). También se evidenció la presencia de arbustos exóticos como zarza y retamilla, cubriendo alrededor de un 15% de la extensión local.



Figura 35. Restos leñosos quemados encontrados en el PP\_70

## 10. Subpoblación N° 2: Nonguén

En la comuna de Concepción se encuentra la localidad de Nonguén, donde se prospectaron dos puntos de presencia (PP) y solo en uno se encontró la presencia de la especie (Figura 9). De aquí en adelante se hará referencia a la población local como PP\_51 (Figura 36).

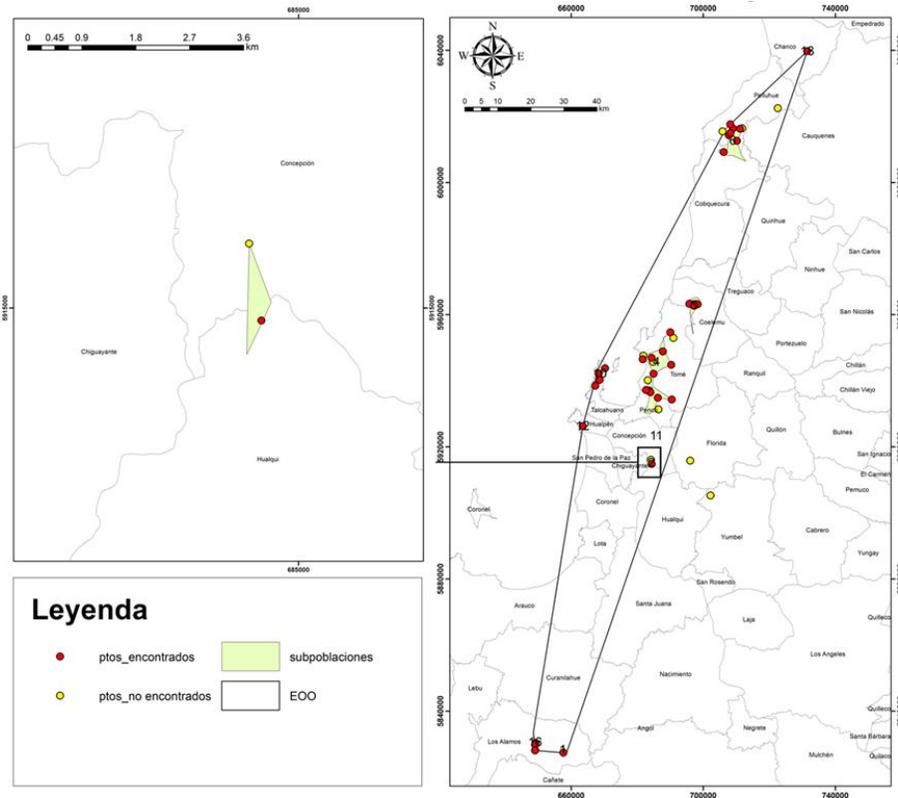


Figura 36. Puntos de presencia visitados correspondientes a la subpoblación N° 2.

### Características del paisaje

La población local se encuentra localizada en un remanente de bosque nativo propiedad de Forestal Arauco, rodeado por una matriz de plantaciones forestales. Los individuos de *G. keule* crecen en zonas planas y en pendiente abrupta (>30%), alejados de cursos de agua. El parche de bosque nativo donde crecen individuos de mayor tamaño tiene una superficie de 27,4 ha.

### Características del ecosistema

La estructura vertical de la comunidad donde crecen los individuos de *G. keule* es heterogénea presentando cuatro estratos; el dominante, intermedio, arbustivo y herbáceo. En el remanente domina en altura y cobertura del dosel la especie nativa *C. alba*, seguido por la especie *N. obliqua* y *L. sempervirens* (Figura 37). El sotobosque presenta una mayor riqueza de especies nativas encontrándose distintas formas de vida como trepadoras, helechos, epifitas y herbáceas. La cobertura del suelo es alta, presentando más del 50% de horizonte orgánico. La cobertura del suelo está compuesta principalmente por gran cantidad de materia orgánica, hojarasca nativa y restos leñosos finos y gruesos.

Se encontró una gran cantidad de árboles muertos en pie de *G. keule*, registrando un total de 112 árboles con grandes dimensiones de DAP. Además, se observó un gran número de tocones por floreo ya sea de *G. keule* y otras especies nativas. Los desechos leñosos finos y gruesos observados en el suelo cubren más del 50% en toda la extensión local.

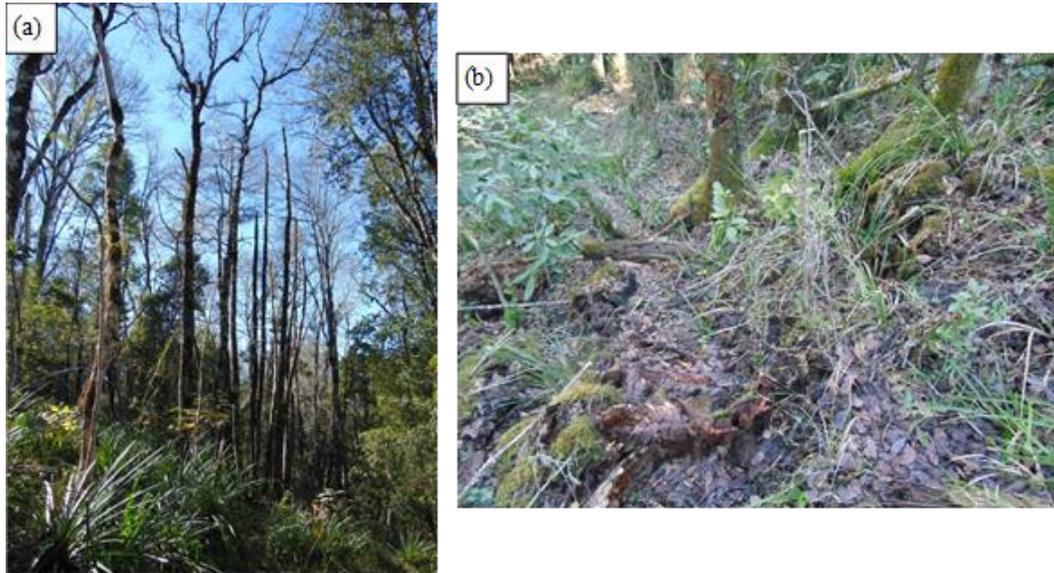


Figura 37. Ecosistema donde se encuentran creciendo los individuos de *G. keule*. (a) Estructura vertical dominado por *C. alba* y *N. obliqua*. (b) Cobertura del suelo.

#### Características de la población

En el parche de bosque nativo se registraron 10 individuos adultos, de los cuales ninguno se encontraba en estado maduro y 61 brinzales en una extensión local aproximada de 31.377 m<sup>2</sup>. No se encontró regeneración por semilla, únicamente por tocón (Figura 38). Los árboles encontrados presentaron una altura promedio de 11 m y un DAP promedio de 18 cm.

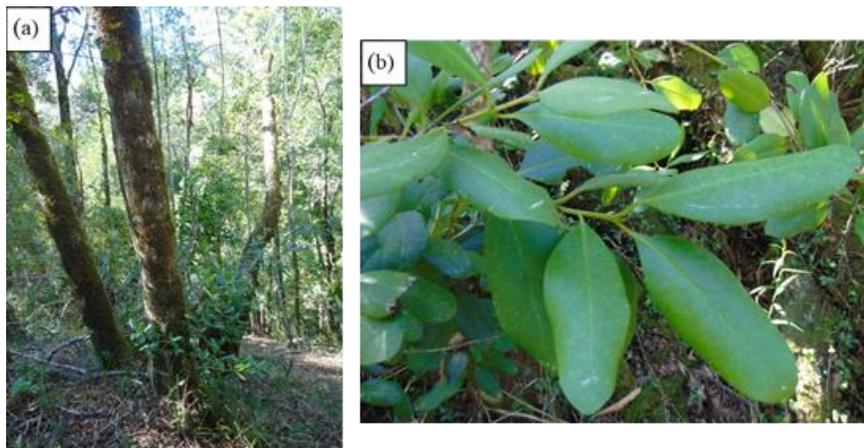


Figura 38. (a) Individuos adultos y (b) brinzales de *G. keule* en remanente de bosque nativo.

## Amenazas

El principal disturbio observado fueron los tocones y árboles caídos de *G. keule* y de otras especies nativas. Por lo tanto, se concluye que la principal amenaza es el floreo debido al constante ingreso de personas de las comunas de Concepción y Hualqui para adquirir leña (Figura 39). Otra posible amenaza son los mega incendios al estar próximo a extensas superficies de plantaciones forestales.



Figura 39. Restos de árboles cortados por acción humana.

### 8.5 Jerarquización de las amenazas (Estándares abiertos)

Aplicando los estándares abiertos para la práctica de la conservación y el sistema de clasificación de amenazas The Nature Conservancy (TNC), se obtuvo la jerarquización de las amenazas por cada población local visitado para el objeto de conservación *Gomortega keule*. Para identificar la ubicación de cada punto de presencia ver figura 9. La jerarquización se muestra a continuación.

#### 1. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen\_4: PP\_9

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Alto	Medio	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alta	Baja	Medio
	Distancia a caminos	Muy alto	Alta	Baja	Medio
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

## 2. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen\_4: PP\_50

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Alto	Medio	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Alto	Alta	Baja	Medio
	Distancia a caminos	Muy alto	Alta	Baja	Medio
	Distancia incendios	Muy Alto	Alto	Alto	Alto

## 3. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen\_4: PP\_53

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	Bajo	Medio	Medio	Bajo
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy Alto	Alto	Baja	Medio
	Distancia a caminos	Medio	Medio	Baja	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

#### 4. Subpoblación Dichato-Tome-Lirquen\_4: PP\_48

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-		
	Extracción de frutos	Bajo	Medio	Medio	Bajo
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto
	Cercanía a proyectos de alto impacto	Muy Alto	Alto	Alto	Alto

#### 5. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén\_4: PP\_55

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy Alto	Alta	Baja	Medio
	Distancia a caminos	Alto	Medio	Baja	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

### 6. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén\_4: PP\_54

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	Bajo	Medio	Medio	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Medio	Medio
	Distancia a caminos	Alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

### 7. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén\_4: PP\_49

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	Bajo	Medio	Medio	Bajo
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Alto	Medio
	Extracción de frutos	Bajo	Alta	Medio	Bajo
	Ramoneo	-	-	-	-
	Extracción de plántulas	-	-	-	-
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy Alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Muy alto

### 8. Subpoblación Dichato-Tomé-Lirquén\_4: PP\_56

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	--	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Alta	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

A escala de sitio, los incendios forestales es la amenaza que afectaría a la especie en una mayor proporción, seguida por la presencia de especies invasoras y la extracción de frutos.

La población local con mayor amenazas a escala de sitio fue PP\_49, con una calificación “Muy alto” para la amenaza incendios forestales.

A escala de paisaje el PP\_54, PP\_41 y PP\_56, son los que presentan la amenaza distancia a camino y distancia a incendio, calificaciones altas y al menos una muy alta.

### 9. Subpoblación Quile\_6: PP\_57

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Alta	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Alto	Medio	Medio
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Medio	Alto	Alto	Medio

### 10. Subpoblación Quile\_6: PP\_8

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Medio	Alta	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Medio	Medio	Alto	Medio

### 11. Subpoblación Quile\_6: PP\_10

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alto	Alto	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Medio	Medio
	Distancia a caminos	Alto	Medio	Medio	Medio
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

### 12. Subpoblación Quile\_6: PP\_24

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Alto	Alto	Alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Medio	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Alto	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

### 13. Subpoblación Quile\_6: PP\_62

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACIÓN
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Bajo	Medio	Bajo
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

#### 14. Subpoblación Quile\_6: PP\_11

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACIÓN
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Alto	Alto	Alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alto	Alto	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Medio	Alto	Alto	Medio

#### 15. Subpoblación Quile\_6: PP\_64

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Medio	Alto	Alto	Medio

A escala de sitio, la presencia de especies invasoras es la amenaza que afectaría a la especie en una mayor proporción, seguida por los incendios forestales.

La población local con mayor amenazas fue PP\_11, presentando una calificación alta en incendios forestales y en presencia de especies invasoras.

A escala de paisaje, el PP\_62 tiene dos calificaciones altas en distancia a caminos y distancias a incendios. La amenaza distancia a camino presentó una calificación alta para la mayoría de las poblaciones locales.

### 16. Subpoblación Buena Esperanza\_17: PP\_52

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Presencia de especies vegetales invasoras	Bajo	Medio	Medio	Bajo
	Extracción de frutos	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

A escala de sitio, la población local presenta tres amenazas directas y cada una tuvo una calificación baja.

A escala de paisaje, las tres amenazas fueron calificadas con “alta”.

### 17. Subpoblación Tumbes\_10: PP\_33

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy Alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	Bajo	Alto	Alto	Bajo
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Alto	Medio	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto

### 18. Subpoblación Tumbes\_10: PP\_58

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy Alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	Bajo	Alto	Alto	Bajo
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos				
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto

### 19. Subpoblación Tumbes\_10: PP\_59

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy Alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos				
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Alto	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

## 20. Subpoblación Tumbes\_10: PP\_60

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy Alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos				
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

## 21. Subpoblación Tumbes\_10: PP\_61

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alto	Medio	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia a caminos	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

A escala de sitio, los incendios forestales es la amenaza más recurrente en las poblaciones locales, seguida por la presencia de especies vegetales invasoras y la corta de la especie.

La población local con mayor amenazas fue PP\_33, presentando una calificación muy alta en incendios forestales y calificación media en presencia de especies invasoras.

A escala de paisaje, el PP\_33 tiene dos calificaciones altas en distancia a ciudades y distancias a caminos. La amenaza distancia a ciudades presentó una calificación alta para todas las poblaciones locales.

## 22. Subpoblación Desembocadura\_12: PP\_25

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	-	-	-	
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

A escala de sitio, no hay presencia de amenazas directas. Sin embargo, a escala de paisaje la amenaza distancia a incendios tiene una calificación alta, por lo tanto hay que considerar medidas de prevención contra incendios en el santuario de la naturaleza en Hualpén.

## 23. Subpoblación Caramavida1\_16: PP\_37

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACIÓN
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Medio	Medio
	Extracción de frutos	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	Distancia incendios	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto

## 24. Subpoblación Caramavida1\_16: PP\_65

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACIÓN
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Medio	Medio	Medio	Medio
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Medio	Medio	Medio	Medio
	Distancia incendios	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto

## 25. Subpoblación Caramavida1\_16: PP\_66

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alto	Medio	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Muy alto	Muy Alto	Alto	Muy alto

## 26. Subpoblación Caramavida1\_16: PP\_67

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Alto	Alto	Alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alta	Alta	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto

A escala de sitio, los incendios forestales es la amenaza más recurrente en las poblaciones locales, seguida por la presencia de especies vegetales invasoras.

La población local con mayor amenazas fue PP\_37, presentando una calificación muy alta en incendios forestales y calificación media para la amenaza presencia de especies invasoras.

A escala de paisaje, el PP\_66 y PP\_67 tiene calificación alta para la distancia a caminos y calificación muy alta para las distancias a incendios. La amenaza distancia a incendios presentó una calificación muy alta para todas las poblaciones locales.

## 27. Subpoblación Caramavida2\_1: PP\_68

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACION
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Alto	Alto	Alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	-	-	-	
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	-	-	-	
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Muy alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Alto	Alto	Alto	Alto

A escala de sitio, los incendios forestales es la principal amenaza directa, con una calificación alta.

A escala de paisaje, la amenaza distancia a caminos y distancia a incendios presentan una alta calificación. La amenaza distancia a ciudades presentó una calificación baja, por lo tanto, no es una amenaza que pueda causar impacto negativo sobre la especie.

## 28. Subpoblación El Carmín\_18: PP\_63

	Amenazas directas	Valoración			CALIFICACIÓN
		Extensión o Alcance	Gravedad o Severidad	Irreversibilidad	
Escala de sitio	Incendios forestales	Muy alto	Alto	Alto	Alto
	Corta selectiva ilegal del bosque nativo.	-	-	-	
	Presencia de especies vegetales invasoras	Alto	Alto	Medio	Alto
	Extracción de frutos	-	-	-	
	Ramoneo	Medio	Alto	Medio	Medio
	Extracción de plántulas	-	-	-	
Escala de paisaje	Distancia a ciudades	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Distancia a caminos	Alto	Alto	Medio	Alto
	Distancia incendios	Medio	Alto	Alto	Medio

A escala de sitio, los incendios forestales y la presencia de especies invasoras son las principales amenaza directas, ambas con una calificación alta.

A escala de paisaje, la amenaza distancia a caminos presenta una alta calificación, la cual debe ser considerada como prioritaria, seguida por la distancia a incendios con una calificación media. La amenaza distancia a ciudades presentó una calificación baja, por lo tanto, no es una amenaza que pueda causar algún impacto negativo sobre la especie.

### 8.5.1 Superficie con *G. keule* afectadas por incendio

La superficie de las subpoblaciones afectada por incendios correspondió a 5,84 ha. En particular, un 91,4% de la subpoblación Las Mercedes N° 11 fue afectada por los incendios. Mientras que la subpoblación de Dichato-Tomé-Lirquén N° 4 se afectaron 3,5 ha (Figura 40).

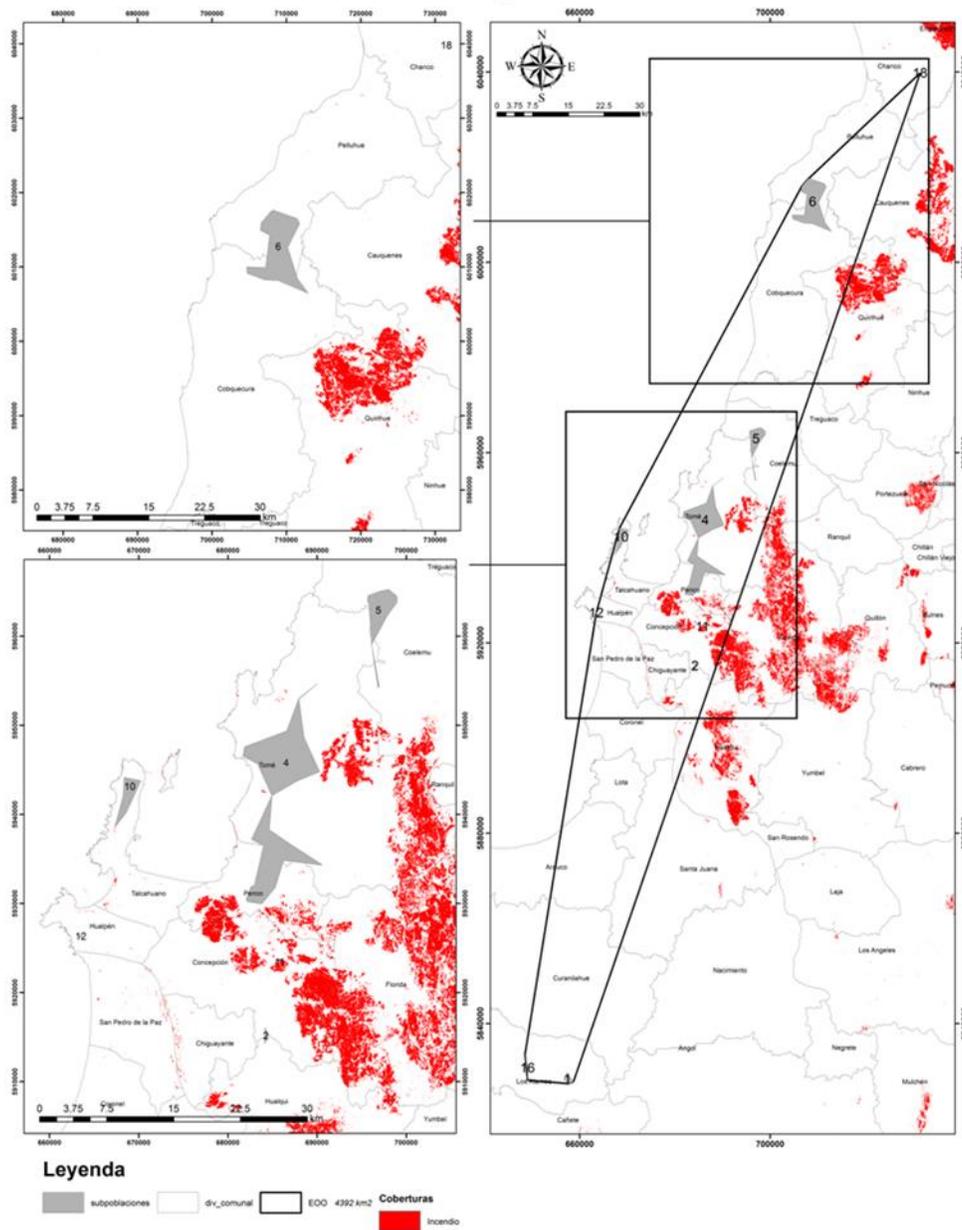


Figura 40. Superficie afectada de *G. keule* utilizando la cobertura de incendios 2017 realizada por el LEP.

## 8.5.2 Análisis de amenazas

### *Selección y ponderación de criterios*

De la aplicación del análisis de jerarquías analíticas se obtuvo las siguientes ponderaciones:

Tabla 6. Ponderación de indicadores de amenaza obtenidos mediante el análisis de jerarquías analíticas. El color rojo indica las tres primeras ponderaciones más altas.

Indicadores de amenaza	Escala local	Escala de paisaje
Cercanía caminos	0.05	0.15
Cercanía incendios	0.05	0.23
Cercanía plantaciones	0.04	0.24
Cercanía proyectos SEIA	0.09	0.23
Cercanía urbana	0.04	0.14
Corta de bosque nativo	0.20	
Especies invasoras	0.07	
Extracción de frutos	0.10	
Ramoneo	0.11	
Extracción de plántulas	0.25	

A escala de paisaje, los indicadores de amenaza con mayor puntaje fueron cercanía a plantaciones (0.24), cercanía a incendios forestales (0.23) y cercanía a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental (0.23). Para las subpoblaciones visitadas, los indicadores con mayor puntaje fueron extracción de plántulas (0.25), evidencia de corta de bosque nativo (0.20) y evidencia de ramoneo de la especie (0.11).

## Priorización espacial

### a) A escala de paisaje

Los cinco indicadores de amenaza a escala de paisaje fueron espacializados y normalizados a valores continuos entre 0 y 1, siendo los valores más cercanos a 1 los que indican un mayor grado de amenaza (Figura 41).

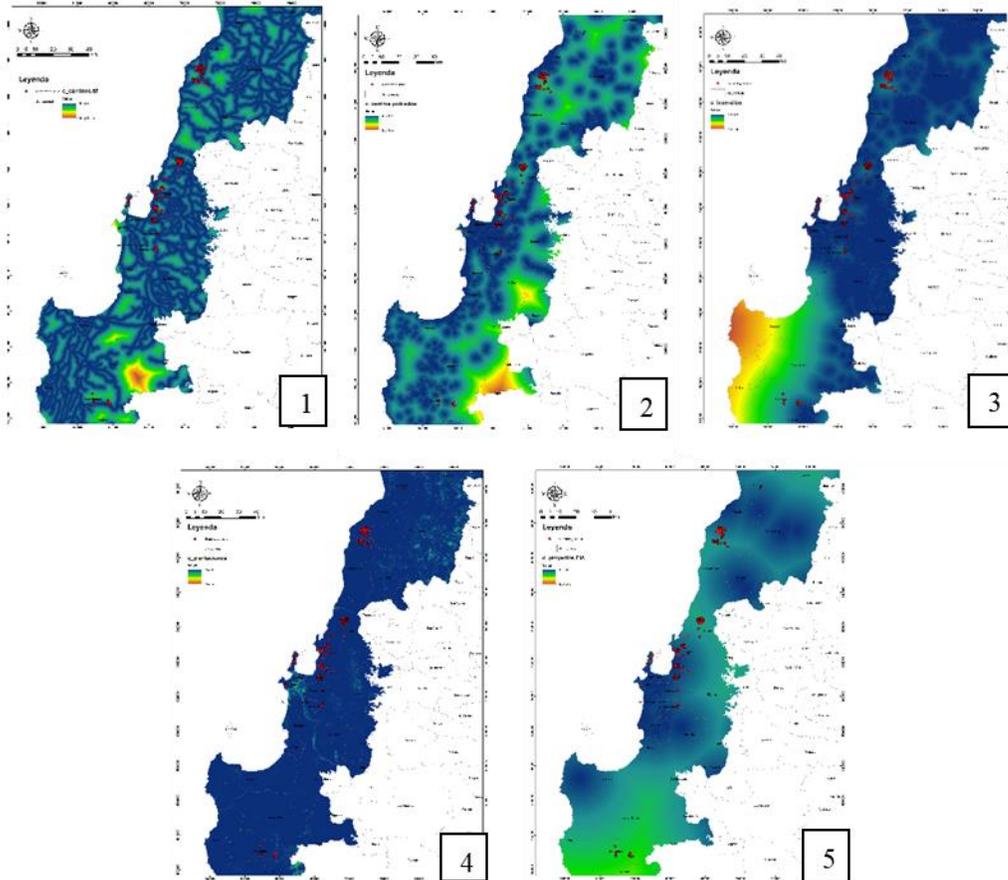


Figura 41. Mapas de amenaza a escala de paisaje. Cercanía a caminos (1), cercanía a centros poblados (2), cercanía a incendios forestales (3), cercanía a plantaciones (4) y cercanía a proyectos bajo Evaluación de Impacto Ambiental (5). Tonalidades más azules corresponden a las áreas con mayor amenaza.

El proceso de priorización de los cinco mapas de amenaza a escala de paisaje mediante Zonation 4 arrojó que las zonas sometidas a una mayor amenaza se ubican, en su mayoría, en áreas aledañas a las comunas de Tomé, Penco, Talcahuano y Concepción (Figura 42).

Las subpoblaciones de *G. keule* que se ubican dentro de estas comunas están sometidos a un mayor grado de amenaza, dado su cercanía a caminos, a centros poblados, a plantaciones forestales, a incendios forestales y a proyectos sometidos a Estudio de Impacto Ambiental. Los 10 puntos de presencia visitados sometidos a una mayor amenaza a escala de paisaje correspondieron a: Lirquen\_2, Lirquen\_4, Donihue\_1, Lirquen\_1, Tumbes\_5, Tome\_2, Buena esperanza, Tumbes\_1, Tumbes\_3 y Tumbes\_4.

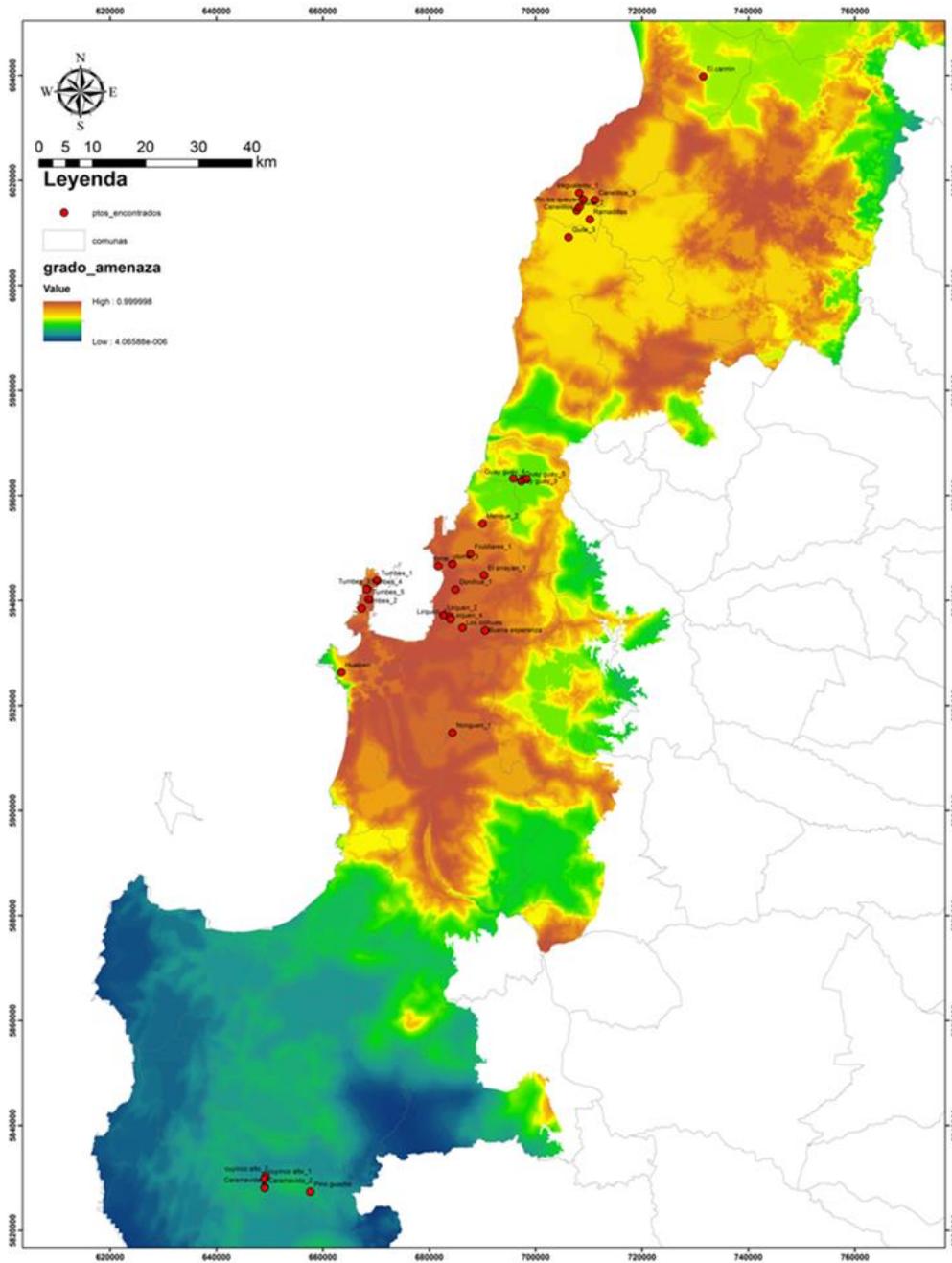


Figura 42. Mapa de amenazas a escala de paisaje obtenido mediante la priorización a través de Zonation 4. Tonalidades más naranjas representan zonas con un mayor grado de amenaza.

## b) A escala local

Considerando el valor de amenaza obtenido mediante la priorización a través de Zonation 4 y, por otra parte, los indicadores de amenaza evaluados en cada uno de los sitios visitados, se construyó una matriz de valoración de los sitios visitados más amenazados, de los cuales se analizó el quintil superior con mayor puntaje ponderado de amenaza (Figura 43, tabla 6).

Los puntos de presencia de *G. keule* que presentaron una mayor amenaza a escala local correspondieron a: Tome\_3, El carmín, Tome\_2, Frutillares 1, buena esperanza y Tumbes\_1.

Estos puntos de presencia coinciden con aquellas más amenazadas a escala de paisaje y se observó una relación positiva entre los indicadores de amenaza a escala de paisaje y los indicadores de amenaza a escala local. En general, a medida que disminuye la distancia a plantaciones, a caminos y a centros poblados aumentan las especies invasoras, la evidencia de ramoneo y la evidencia de tala de bosque nativo.

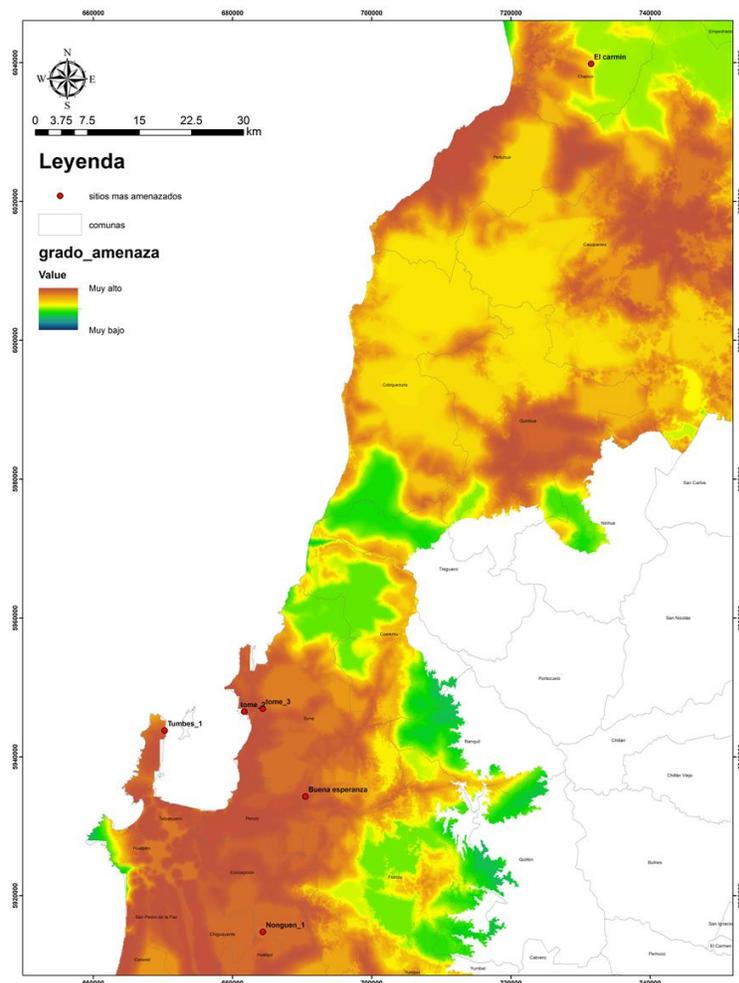


Figura 43. Sitios visitados en terreno pertenecientes al quintil superior de priorización de amenazas (zonation 4) medidas a escala de paisaje y local.

De los seis sitios pertenecientes al quintil superior con mayor grado de amenaza, tome\_3 corresponde al sitio más amenazado de los 30 sitios visitados. Su nivel de amenaza se explica por la cercanía a caminos, a centros poblados, a plantaciones forestales y a incendios. A escala local, en terreno se evidenció un alto grado de invasión de especies exóticas, de senderos y bostas e incluso, evidencia de corta de la especie.

## 8.6. Propuesta de acciones de conservación

La tabla 7 muestra el ranking de amenazas (1- 0) para cada sitio visitado, el valor 1 corresponde al sitio más amenazado y el 0 al menos amenazado. Se consideraron para este ranking las amenazas locales y de paisaje las cuales presentan valores entre 0 y 5 es decir de menor a mayor grado de amenaza y vulnerabilidad de los sitios visitados. El primer quintil (rojo oscuro) corresponde a los sitios más amenazados y en estos se enfocó la propuesta de acciones de conservación a corto, mediano y largo plazo.

Además, se generó una tabla de integridad ecológica (Tabla 8) que muestra los atributos de composición, estructura y función evaluadas a distintos niveles jerárquicos de organización ecológica, categorizados con valores de 0 a 5 los cuales indican menor a mayor integridad ecológica. Sumado a las amenazas, esto permitió realizar las estrategias de conservación.

Tabla 7. Análisis de degradación y atributos ecológicos para los 36 sitios visitados.

Ranking de amenaza (paisaje-local)	Datos del sitio		Amenazas locales					Amenazas a escala de paisaje				
	Código	ID	Tala	Especies invasoras	Extracción de frutos	Ramoneo	Extracción de plántulas	Cercanía a centros poblados	Cercanía a proyectos bajo EIA	Cercanía a plantaciones forestales	Cercanía a incendios	Cercanía a caminos
1,00	tome_3	18	5	5	0	0	0	5	1	5	1	5
0,56	tome_2	17	2	4	0	0	0	5	1	5	1	5
0,55	Nonguen_1	51	3	2	0	0	0	2	1	5	2	5
0,51	Buena esperanz	52	1	3	0	0	0	5	3	4	4	5
0,51	El carmin	63	1	1	1	0	0	2	3	5	2	3
0,51	Tumbes_1	33	0	4	0	3	0	5	3	5	5	4
0,46	Frutillares_1	48	0	0	5	0	0	3	3	5	4	1
0,45	Donihue_1	50	0	3	0	0	0	4	4	5	5	5
0,44	Lirquen_4	9	0	3	0	0	0	5	5	5	4	4
0,44	Lirquen_2	56	0	3	0	0	0	5	5	5	4	4
0,42	El arrayan_1	49	1	0	1	0	0	3	3	5	5	4
0,42	Tumbes_5	61	0	4	0	0	0	5	3	5	5	4
0,33	Tumbes_2	58	1	0	0	0	0	5	4	5	5	2
0,26	Quile_3	57	0	3	0	1	0	2	2	5	1	4
0,25	Canelillos_1	10	0	4	0	0	0	3	3	5	2	3
0,25	Lirquen_1	55	0	0	0	0	0	5	5	5	3	3
0,21	tregualemu_1	24	0	3	0	0	0	4	3	5	3	2
0,20	Tumbes_3	59	0	0	0	0	0	5	3	5	5	3
0,20	Tumbes_4	60	0	0	0	0	0	5	3	5	5	3
0,20	Guay guay_1	70	0	2	0	0	0	1	1	5	5	5
0,20	Guay guay_2	71	0	2	0	0	0	1	1	5	5	5
0,20	Guay guay_3	72	0	2	0	0	0	1	1	5	5	5
0,20	Guay guay_4	73	0	2	0	0	0	1	1	5	5	5
0,20	Guay guay_5	74	0	2	0	0	0	1	1	5	5	5
0,19	Ramadillas	8	0	3	0	0	0	1	2	4	2	5
0,18	Quile_2	11	0	4	0	0	0	2	2	5	2	3
0,17	Canelillos_3	62	0	1	0	0	0	2	3	5	3	4
0,17	Los coihues	54	0	0	0	0	0	3	4	5	4	3
0,17	Menque_2	53	0	0	1	0	0	5	2	5	4	2
0,17	Caramavida_1	66	0	4	0	0	0	2	1	5	1	4
0,17	Caramavida_2	67	0	4	0	0	0	2	1	5	1	4
0,12	Rn los queules	64	0	0	0	0	0	2	2	5	2	5
0,10	Hualpen	25	0	0	0	0	0	3	4	5	5	1
0,09	cuyinco alto_2	37	0	3	1	0	0	1	1	5	1	2
0,07	Pino guacho	68	0	0	0	0	0	1	1	5	3	5
0,00	cuyinco alto_1	65	0	3	0	0	0	1	1	5	1	2

Tabla 8. Categorización (0-5) de la integridad ecológica en los sitios con presencia de *G. keule*

Ranking de amenaza (paisaje-local)	Datos del sitio		Integridad Ecológica (por nivel jerárquico)									
			Especie		Comunidad-Ecosistema						Paisaje	
	Código	ID	Individuos maduros	Regeneración	Cobertura del dosel	Cobertura del suelo	Complejidad estructural (n* de estratos)	Especies dominantes nativas	Extensión local (m2)	Tipo de cobertura	Tamaño del fragmento	MSPA
1,00	tome_3	18	0	0	1	3	3	3	5	3	0	0
0,56	tome_2	17	2	0	1	1	2	3	1	1	0	0
0,55	Nonguen_1	51	0	0	5	5	5	5	5	5	5	0
0,51	Buena esperanza	52	2	0	3	1	4	3	3	2	0	0
0,51	El carmin	63	2	0	3	3	1	5	5	1	0	0
0,51	Tumbes_1	33	1	0	1	3	3	3	5	3	0	0
0,46	Frutillares_1	48	4	0	3	3	3	5	5	5	2	0
0,45	Donihue_1	50	2	0	5	1	2	3	2	1	0	0
0,44	Lirquen_4	9	0	0	5	1	3	3	2	2	0	0
0,44	Lirquen_2	56	2	0	3	3	3	5	5	5	4	0
0,42	El arrayan_1	49	2	0	5	3	4	3	5	3	0	0
0,42	Tumbes_5	61	0	0	5	5	3	3	2	3	0	0
0,33	Tumbes_2	58	1	0	1	3	1	1	2	2	2	0
0,26	Quile_3	57	5	5	3	1	4	5	5	3	1	0
0,25	Canelillos_1	10	0	0	1	1	3	5	5	2	0	0
0,25	Lirquen_1	55	0	0	3	5	5	5	5	5	0	1
0,21	tregualemu_1	24	1	0	5	3	4	5	1	5	3	0
0,20	Tumbes_3	59	2	0	3	5	5	5	1	3	1	0
0,20	Tumbes_4	60	1	0	1	5	5	2	2	3	1	0
0,20	Guay guay_1	70	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0
0,20	Guay guay_2	71	0	5	1	2	0	1	5	1	0	0
0,20	Guay guay_3	72	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0
0,20	Guay guay_4	73	3	0	3	5	5	5	2	5	3	0
0,20	Guay guay_5	74	0	0	1	2	0	1	2	1	0	0
0,19	Ramadillas	8	0	0	1	1	4	5	5	1	1	0
0,18	Quile_2	11	0	0	1	1	3	5	1	3	1	0
0,17	Canelillos_3	62	0	0	1	4	3	5	5	5	1	0
0,17	Los coihues	54	1	0	3	4	3	5	5	5	3	0
0,17	Menque_2	53	0	0	5	5	4	5	4	5	1	0
0,17	Caramavida_1	66	0	0	3	4	4	5	5	1	0	1
0,17	Caramavida_2	67	1	0	5	5	4	5	5	5	1	1
0,12	RN Los Queules	64	3	0	5	5	4	5	0	5	5	0
0,10	Hualpen	25	0	0	5	5	5	5	1	3	4	0
0,09	cuyinco alto_2	37	1	0	1	5	3	5	1	1	1	1
0,07	Pino guacho	68	3	0	1	1	1	2	3	3	0	0
0,00	cuyinco alto_1	65	0	0	1	1	4	2	1	1	1	0

## Propuestas a corto, mediano y largo plazo

### Estrategias de manejo a corto plazo: Tomé\_3

		Estrategias de manejo a corto plazo			
sitio	Condición actual (disturbios y atributos)	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Tomé_3	1. Alto grado de Invasión de especies exóticas	1. Promover la colecta cuidadosa de semillas de queule, por personas capacitadas previamente.	Generar pool de plántulas para restauración ecológica	1. Eliminar progresivamente las especies exóticas invasoras	Disminuir la competencia con la especie objetivo y evitar cambios drásticos en temperatura y luminosidad.
	2. Alta presencia de senderos.				
	3. Ausencia de individuos maduros	2. Cercado para evitar el acceso de personas y animales.	Proteger de forma oficial el área para evitar el daño de la especie por el ingreso de humanos y animales.	2. Determinar el patrón espacial en bosques remanentes de queule que presenten una baja degradación (referencia), para iniciar el proceso de restauración.	Obtener la información composicional, estructural y espacial para el iniciar el plan de restauración.
	4. Ausencia de regeneración.	3. Iniciar la producción de plantas de queule.	Disponer de plántulas para el proceso de restauración ecológica.		
	5. Baja cobertura del dosel.	4. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas del ecosistema de referencia	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural y la composición de la comunidad.	3. Determinar los elementos estructurales claves que permitan aumentar la regeneración por semillas.	Promover el establecimiento natural de las semillas de <i>G. keule</i>

	6. Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo	5. Control de vigilancia al inicio de los senderos que conllevan a los parches con presencia de <i>G. keule</i>	Disminuir el ingreso de personas.		
	7. Matriz: forestal  Alto grado de fragmentación	6. Educación ambiental en las juntas de vecinos.  7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad.  8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).	Aumentar el conocimiento e importancia de la especie y sensibilizar a la comunidad.		

### Estrategias de manejo a mediano plazo: Tomé\_3

sitio	Condición actual	Estrategias mediano plazo					
		A nivel de especie	Propósito	A nivel de comunidad-ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Tome_3	<p>1. Alto grado de Invasión de especies exóticas</p> <p>2. Alta presencia de senderos.</p> <p>3. Ausencia de individuos maduros</p> <p>4. Ausencia de regeneración.</p> <p>5. Baja cobertura del dosel.</p> <p>6. Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo</p> <p>7. Matriz: forestal</p> <p>Alto grado de fragmentación</p>	1. Aumentar la extensión de la presencia local en el parche remanente con <i>G. keule</i> .	Aumentar el hábitat de la especie	1. Iniciar el proceso de restauración con especies acompañantes según el patrón espacial del ecosistema de referencia	Recuperar los atributos claves para mejorar la calidad del hábitat de la especie	1. Mejorar el parche existente de bosques nativo.	Recuperar los atributos (composición, estructura y función).
		2. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	2. Obtener especies acompañantes de diferentes alturas.	Aumentar la heterogeneidad vertical, creado por múltiples estratos a futuro.	2. Mejorar la matriz, manteniendo en pie los árboles de especies comerciales evitando su tala rasa cercana al parche de nativo.	Disminuir el contraste entre la matriz y el parche de bosque nativo.
				2. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Identificar el progreso o las debilidades del manejo realizado.		
3. Después de un año aproximadamente y de acuerdo con los resultados del monitoreo, establecer la plantación de los individuos de queule.		Asegurar la supervivencia de los individuos de queule a través del tiempo.					

**Estrategias de manejo a largo plazo: Tomé\_3**

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a largo plazo		Estrategias de manejo orientadas en patrones y/o procesos	
		A nivel de ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Tome_3	<p>1. Alto grado de Invasión de especies exóticas</p> <p>2. Alta presencia de senderos.</p> <p>3. Ausencia de individuos maduros</p> <p>4. Ausencia de regeneración.</p> <p>5. Baja cobertura del dosel.</p> <p>6. Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo</p> <p>7. Matriz: forestal</p> <p>Alto grado de fragmentación</p>	<p>1. Mantener y mejorar la interacción de especies claves y diversidad funcional.</p>	<p>Mantener la dinámica de los procesos ecosistémicos importantes para la supervivencia de la especie.</p>	<p>1. Mantener y aumentar la superficie del parche de bosque nativo a través de la restauración.</p>	<p>Aumentar el área núcleo y la capacidad para mantener mayor número de especies animales y vegetales.</p>
				<p>2. Generar zonas buffer alrededor de los parches de bosque nativo a través de restauración.</p>	<p>Reducir el efecto borde para mantener las condiciones abióticas y bióticas que requiere la especie.</p>
				<p>3. Mantener y mejorar la heterogeneidad estructural del paisaje.</p>	<p>Aumentar la resiliencia frente a disturbios antrópicos de gran magnitud.</p>
				<p>4. Manejar la matriz de plantación forestal a través de reforestación o revegetación en zonas claves con especies nativas.</p>	<p>Aumentar la permeabilidad de la matriz con el parche de hábitat del queule y proveer nuevos hábitats.</p>
				<p>1. Conectar parches aislados con presencia de la especie objetivo, a través de corredores ecológicos (corredores ribereños).</p>	<p>Aumentar y mantener la conectividad para asegurar la persistencia de la población a través de la dispersión de semillas, aumentando el flujo de especies animales dispersores del fruto.</p> <p>La conectividad permite el intercambio de genes.</p>

### Estrategias de manejo a corto plazo: Tomé\_2

Estrategias a corto plazo					
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Tomé_2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta presencia de senderos.</li> <li>-Baja presencia de individuos maduros</li> <li>-Ausencia de regeneración.</li> <li>-Baja cobertura del dosel.</li> <li>- Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo</li> <li>-Baja complejidad estructural</li> <li>-Reducida extensión de la presencia local.</li> <li>-Matriz: pradera</li> <li>- Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo</li> <li>-Alto grado de fragmentación</li> </ul>	1. Promover la colecta cuidadosa de semillas de queule en los alrededores de la localidad. La colecta debe ser realizada por personas capacitadas previamente.	Generar pool de plántulas para restauración ecológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar el patrón espacial en bosques remanentes de queule que presenten una baja degradación (referencia), para iniciar el proceso de restauración.</li> <li>2. Determinar los elementos estructurales claves que permitan aumentar la regeneración por semillas.</li> </ul>	<p>Obtener la información composicional, estructural y espacial para el iniciar el plan de restauración.</p> <p>Promover el establecimiento natural de las semillas de <i>G. keule</i></p>
		2. Cercado para evitar el acceso de personas.	Evitar el ingreso de personas para disminuir el daño de la especie ya sea por robo de leña o extracción de frutos.		
		3. Iniciar la producción de plantas de queule.	Disponer de plántulas para el proceso de restauración ecológica.		
		4. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas del ecosistema de referencia.	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural y la composición de la comunidad.		
		5. Control de vigilancia al inicio de los senderos que conllevan a los parches con presencia de <i>G. keule</i>	Disminuir el ingreso de personas.		

		<p>6. Educación ambiental en las juntas de vecinos.</p> <p>7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad.</p> <p>8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).</p>	<p>Aumentar el conocimiento e importancia de la especie y sensibilizar a la comunidad.</p>		
--	--	--	--	--	--

### Estrategias de manejo a mediano plazo: Tomé\_2

		Estrategias mediano plazo					
Sitio/ Amenazas	Condición actual	A nivel de especie	Propósito	A nivel de comunidad-ecosistema	Propósito	A nivel de paisaje	Propósito
Tome_2	- Alta presencia de senderos. - Baja presencia de individuos maduros - Ausencia de regeneración. - Baja cobertura del dosel. - Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo - Baja complejidad estructural - Reducida extensión de la presencia local. - Matriz: pradera - Superficie reducida del parche con presencia de la	1. Aumentar la extensión de la presencia local en el parche remanente con <i>G. keule</i> .	Aumentar el hábitat de la especie	1. Iniciar el proceso de restauración con especies acompañantes según el patrón espacial del ecosistema de referencia.	Recuperar los atributos claves para mejorar la calidad del hábitat de la especie.	1. Mejorar el parche existente de bosques nativo.	Recuperar los atributos (composición, estructura y función).
		2. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales y físicas.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	2. Obtener una densidad significativa de especies acompañantes de diferentes alturas y con diferentes rasgos funcionales (fenología, tolerancia a la luz etc.).	Aumentar la heterogeneidad vertical, creado por múltiples estratos a futuro y la complejidad estructural.		
				2. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Identificar el progreso o las debilidades del manejo realizado.		
				3. Después de un año aproximadamente y de acuerdo con los resultados del monitoreo, establecer la plantación de los individuos de queule.	Asegurar el establecimiento y supervivencia de los individuos de queule a través del tiempo.		

	especie objetivo -Alto grado de fragmentación						
--	--	--	--	--	--	--	--

**Estrategias de manejo a largo plazo: Tomé\_2**

		Estrategias a largo plazo orientadas en los patrones		Estrategias a largo plazo orientadas en los patrones y/o procesos	
Sitio	Condición actual	A nivel de ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Tome_2	- Alta presencia de senderos. -Baja presencia de individuos maduros -Ausencia de regeneración. -Baja cobertura del dosel. - Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo. -Baja complejidad estructural. -Reducida extensión de la presencia local. -Matriz: pradera	1. Mantener y mejorar la interacción de especies claves y diversidad funcional.	Mantener la dinámica de los procesos ecosistémicos importantes para la supervivencia de la especie.	1. Mantener y aumentar la superficie del parche de bosque nativo a través de la restauración.	Aumentar el área núcleo y la capacidad para mantener mayor número de especies animales y vegetales.
				2. Restaurar las características estructurales de los parches.	Mejorar las características estructurales del parche de bosque nativo
				2. Generar zonas buffer alrededor de los parches de bosque nativo.	Reducir el efecto borde para mantener las condiciones abióticas y bióticas que requiere la especie.
				3. Mantener y mejorar la heterogeneidad estructural del paisaje.	Aumentar la resiliencia frente a disturbios antrópicos de gran magnitud.
				4. Conectar parches aislados con presencia de la especie objetivo, a través de	Aumentar y mantener la conectividad para asegurar la persistencia de la población a través de la dispersión de semillas, aumentando el flujo de

<p>-Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo</p> <p>-Alto grado de fragmentación</p>				<p>corredores ecológicos (corredores ribereños).</p>	<p>especies animales dispersores del fruto.</p> <p>La conectividad permite el intercambio de genes.</p>
				<p>5. Manejar zonas claves de la matriz (pradera), creando núcleos de vegetación nativa (“stepping stones”)</p>	<p>Aumentar la conectividad entre parches aislados por la matriz.</p>

### Estrategia de manejo a corto plazo: Nonguén 1

		Estrategias a corto plazo			
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Nonguén 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta accesibilidad al sitio.</li> <li>- Ausencia individuos maduros.</li> <li>- Ausencia de regeneración.</li> <li>- Gran número de árboles muertos en pie de la especie</li> <li>- Gran número de especies nativas acompañantes taladas.</li> </ul>	<p>1. Promover la colecta cuidadosa de semillas de queule en los alrededores de la localidad. La colecta debe ser realizada por personas capacitadas previamente.</p>	<p>Generar pool de plántulas para restauración ecológica</p>	<p>1. Determinar el patrón espacial en bosques remanentes de queule que presenten una baja degradación (referencia), para iniciar el proceso de restauración.</p>	<p>Obtener la información composicional, estructural y espacial para el iniciar el plan de restauración.</p>
		<p>2. Generar un sistema de protección efectivo y eficiente, considerando todos los actores locales.</p>	<p>Evitar el ingreso de personas para disminuir el daño de la especie por robo de leña.</p>	<p>2. Determinar los elementos estructurales claves que permitan aumentar la regeneración por semillas en los remanentes.</p>	<p>Promover el establecimiento natural de las semillas de <i>G. keule</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel medio de cobertura del dosel.</li> <li>- Matriz: plantación forestal</li> <li>- Alto grado de fragmentación</li> </ul>	3. Iniciar la producción de plantas de queule.	Disponer de plántulas para el proceso de restauración ecológica.	3. Determinar las condiciones físicas claves para evitar la muerte de los individuos de <i>G. keule</i>	Favorecer e crecimiento y la supervivencia de la especie.
	4. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas del ecosistema de referencia.	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural y la composición de la comunidad.		
	5. Control de vigilancia al inicio de los senderos que conllevan a los parches con presencia de <i>G. keule</i>	Disminuir el ingreso de personas.		
	6. Educación ambiental en las juntas de vecinos. 7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad. 8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).	Aumentar el conocimiento e importancia de la especie y sensibilizar a la comunidad.		

### Estrategia de manejo a mediano plazo: Nonguén 1

		Estrategias mediano plazo					
Sitio	Condición actual	A nivel de especie	Propósito	A nivel de comunidad-ecosistema	Propósito	A nivel de paisaje	Propósito
Nonguén 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta accesibilidad al sitio.</li> <li>- Ausencia individuos maduros.</li> <li>- Ausencia de regeneración.</li> <li>- Gran número de árboles muertos en pie de la especie</li> <li>- Gran número de especies nativas acompañantes taladas.</li> <li>- Nivel medio de cobertura del dosel.</li> <li>- Matriz: plantación forestal</li> <li>- Alto grado de fragmentación</li> </ul>	1. Aumentar la extensión de la presencia local en el parche remanente con <i>G. keule</i> .	Aumentar el hábitat de la especie	1. Iniciar el proceso de restauración con especies acompañantes según el patrón espacial del ecosistema de referencia.	Recuperar los atributos claves para mejorar la calidad del hábitat de la especie.	1. Mejorar el parche existente de bosques nativo.	Recuperar los atributos (composición, estructura y función).
		2. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales y físicas del sitio.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	2. Obtener una densidad significativa de especies acompañantes de diferentes alturas y con diferentes rasgos funcionales (fenología, tolerancia a la luz etc.).	Aumentar la heterogeneidad vertical, creado por múltiples estratos a futuro y la complejidad estructural.		
				2. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Identificar el progreso o las debilidades del manejo realizado.		
3. Después de un año aproximadamente y de acuerdo con los resultados del monitoreo, establecer la plantación de los individuos de queule.	Asegurar el establecimiento y supervivencia de los individuos de queule a través del tiempo.						

### Estrategia de manejo a largo plazo: Nonguén 1

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a largo plazo		Estrategias a largo plazo orientadas en los patrones y/o procesos	
		A nivel de ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
El Carmín	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta accesibilidad al sitio.</li> <li>- Ausencia individuos maduros.</li> <li>- Ausencia de regeneración.</li> <li>- Gran número de árboles muertos en pie de la especie</li> <li>- Gran número de especies nativas acompañantes taladas.</li> <li>- Nivel medio de cobertura del dosel.</li> <li>- Matriz: plantación forestal</li> <li>- Alto grado de fragmentación presencia de la especie objetivo</li> <li>-Alto grado de fragmentación</li> </ul>	1. Mantener y mejorar la interacción de especies claves y diversidad funcional.	Mantener la dinámica de los procesos ecosistémicos importantes para la supervivencia de la especie.	1. Mantener y aumentar la superficie del parche de bosque nativo a través de la restauración.	Aumentar el área núcleo y la capacidad para mantener mayor número de especies animales y vegetales.
				2. Restaurar las características estructurales de los parches	Mejorar las características estructurales del parche de bosque nativo
				3. Generar zonas buffer alrededor de los parches de bosque nativo.	Reducir el efecto borde para mantener las condiciones abióticas y bióticas que requiere la especie.
				3. Mantener y mejorar la heterogeneidad estructural del paisaje.	Aumentar la resiliencia frente a disturbios antrópicos de gran magnitud.
				4. Conectar parches aislados con presencia de la especie objetivo, a través de corredores ecológicos.	Aumentar y mantener la conectividad para asegurar la persistencia de la población a través de la dispersión de semillas, aumentando el flujo de especies animales dispersores del fruto.  La conectividad permite el intercambio de genes.

### Estrategia de manejo a corto plazo: El Carmín

		Estrategias a corto plazo			
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
El Carmín	1. Alta presencia de especies exóticas invasoras.	1. Promover la colecta cuidadosa de semillas de queule en los alrededores de la localidad. La colecta debe ser realizada por personas capacitadas previamente.	Generar pool de plántulas para restauración ecológica	1. Eliminar progresivamente las especies exóticas invasoras	Disminuir la competencia con la especie objetivo y evitar cambios drásticos en temperatura y luminosidad.
	2. Alta presencia de senderos.				
	3. Baja presencia de individuos maduros				
	4. Ausencia de regeneración.				
5. Nivel medio de cobertura del dosel	2. Cercado para evitar el acceso de personas.	Evitar el ingreso de personas para disminuir el daño de la especie ya sea por robo de leña o extracción de frutos.	2. Determinar el patrón espacial en bosques remanentes de queule que presenten una baja degradación (referencia), para iniciar el proceso de restauración.	Obtener la información composicional, estructural y espacial para el iniciar el plan de restauración.	
6. Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo	3. Iniciar la producción de plantas de queule.	Disponer de plántulas para el proceso de restauración ecológica.			
7. Reducida extensión de la presencia local.	4. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas del ecosistema de referencia.	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural y la composición de la comunidad.			3. Determinar los elementos estructurales claves que permitan aumentar la regeneración por semillas en los remanentes.
8. Matriz: plantación forestal					
9. Superficie reducida del parche con					

	presencia de la especie objetivo 10. Alto grado de fragmentación	5. Control de vigilancia al inicio de los senderos que conllevan a los parches con presencia de <i>G. keule</i>	Disminuir el ingreso de personas.		
		6. Educación ambiental en las juntas de vecinos.	Aumentar el conocimiento e importancia de la especie y sensibilizar a la comunidad.		
		7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad.			
		8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).			

### Estrategias de manejo a mediano plazo: El Carmín

		Estrategias mediano plazo					
Sitio	Condición actual	A nivel de especie	Propósito	A nivel de comunidad-ecosistema	Propósito	A nivel de paisaje	Propósito
El Carmín	<p>-Alta presencia de especies exóticas invasoras.</p> <p>- Alta presencia de senderos.</p> <p>-Baja presencia de individuos maduros</p> <p>-Ausencia de regeneración.</p> <p>-Nivel medio de cobertura del dosel</p> <p>- Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo</p> <p>-Reducida extensión de la presencia local.</p> <p>-Matriz: plantación forestal</p> <p>-Superficie reducida del</p>	1. Aumentar la extensión de la presencia local en el parche remanente con <i>G. keule</i> .	Aumentar el hábitat de la especie	1. Iniciar el proceso de restauración con especies acompañantes según el patrón espacial del ecosistema de referencia.	Recuperar los atributos claves para mejorar la calidad del hábitat de la especie.	1. Mejorar el parche existente de bosques nativo.	Recuperar los atributos (composición, estructura y función).
		2. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales y físicas.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	2. Obtener una densidad significativa de especies acompañantes de diferentes alturas y con diferentes rasgos funcionales (fenología, tolerancia a la luz etc.).	Aumentar la heterogeneidad vertical, creado por múltiples estratos a futuro y la complejidad estructural.		
				2. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Identificar el progreso o las debilidades del manejo realizado.		
				3. Después de un año aproximadamente y de acuerdo con los resultados del monitoreo, establecer la plantación de los individuos de queule.	Asegurar el establecimiento y supervivencia de los individuos de queule a través del tiempo.		

	<p>parche con presencia de la especie objetivo</p> <p>-Alto grado de fragmentación</p>						
--	--	--	--	--	--	--	--

### Estrategias de manejo a largo plazo: El carmín

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a largo plazo		Estrategias a largo plazo orientadas en los patrones y/o procesos	
		A nivel de ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
El Carmín	<p>-Alta presencia de especies exóticas invasoras.</p> <p>- Alta presencia de senderos.</p> <p>-Baja presencia de individuos maduros</p> <p>-Ausencia de regeneración.</p> <p>-Nivel medio de cobertura del dosel</p> <p>- Baja cobertura de horizonte orgánico en el suelo</p> <p>-Reducida extensión de la presencia local.</p>	1. Mantener y mejorar la interacción de especies claves y diversidad funcional.	Mantener la dinámica de los procesos ecosistémicos importantes para la supervivencia de la especie.	1. Mantener y aumentar la superficie del parche de bosque nativo a través de la restauración.	Aumentar el área núcleo y la capacidad para mantener mayor número de especies animales y vegetales.
				2. Restaurar las características estructurales de los parches	Mejorar las características estructurales del parche de bosque nativo
				3. Generar zonas buffer alrededor de los parches de bosque nativo.	Reducir el efecto borde para mantener las condiciones abióticas y bióticas que requiere la especie.
				3. Mantener y mejorar la heterogeneidad estructural del paisaje.	Aumentar la resiliencia frente a disturbios antrópicos de gran magnitud.
				4. Conectar parches aislados con presencia de la especie objetivo, a través de	Aumentar y mantener la conectividad para asegurar la persistencia de la población a través de la dispersión de semillas, aumentando el flujo de

	<p>-Matriz: plantación forestal</p> <p>-Superficie reducida del parche con presencia de la especie objetivo</p> <p>-Alto grado de fragmentación</p>			<p>corredores ecológicos (corredores ribereños).</p>	<p>especies animales dispersores del fruto.</p> <p>La conectividad permite el intercambio de genes.</p>

### Estrategias de manejo a corto plazo sitio: Buena Esperanza

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a corto plazo			
		A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Buena Esperanza	1. Alto grado de Invasión de especies exóticas	1. Identificar, marcar y generar plan de monitoreo de los individuos de <i>G. keule</i>	Mantener una base de datos con información poblacional actualizada	1. Eliminar progresivamente las especies exóticas invasoras	Disminuir la competencia
	2. Baja regeneración de la especie	2. Promover la recolección de semillas de <i>G. keule</i>	Generar pool de semillas para restauración ecológica		
	3. Bajo grado de complejidad estructural de la comunidad	3. Iniciar la producción de plántulas de <i>G. keule</i>	Disponer de plántulas para proceso de restauración ecológica	2. Cercar los sitios con potenciales de regeneración	Evitar el ramoneo de plántulas de la especie
	4. Tamaño del fragmento reducido	4. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural del ecosistema en los planes de restauración	3. Identificar los procesos ecosistémicos que estuvieran generando un impacto negativo en la regeneración de la especie	Establecer protocolos para eliminar esos procesos
	5. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica			4. Determinar el patrón espacial del ecosistema de referencia de la especie	Colectar información composicional, estructural y espacial para el plan de restauración

### Estrategias de manejo a mediano plazo: Buena esperanza

Estrategias de manejo a mediano plazo							
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Buena Esperanza	1. Alto grado de Invasión de especies exóticas	1. Obtener plantas de <i>G. keule</i> fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	1. Iniciar procesos de restauración con especies acompañantes dentro del polígono de EOO local	Recuperar la complejidad estructural de los remanentes de bosque nativo	1. Aumentar el tamaño de los remanentes de parches con <i>G. keule</i> dentro del polígono de EOO local.	Aumentar área núcleo
	2. Baja regeneración						
	3. Bajo grado de complejidad estructural de la comunidad	2. Monitorear el estado de la población de <i>G. keule</i>	Identificar posibles procesos que estuvieran amenazando la continuidad de la especie	2. Obtener especies acompañantes de diferentes alturas.	Aumentar la heterogeneidad vertical, creado por múltiples estratos a futuro.	2. Generar un área buffer alrededor de los remanentes de parches con la especie	Disminuir el contraste con la matriz y mitigar el efecto de borde
	4. Tamaño del fragmento reducido	2. Iniciar procesos de restauración ecológica dentro del polígono de EOO local	Aumentar el número de individuos de <i>G. keule</i> . Mejorar la heterogeneidad estructural de la población	3. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Identificar el progreso o las debilidades del manejo realizado.		
	5. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica						

### Estrategias de manejo a largo plazo: Buena esperanza

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a largo plazo				Estrategias orientadas en patrones y/o procesos	
		A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Buena Esperanza	1. Alto grado de Invasión de especies exóticas  2. Baja regeneración  3. Bajo grado de complejidad estructural de la comunidad  4. Tamaño del fragmento reducido  5. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica	1. Mantener la interacción de especies clave y diversidad funcional	Proteger procesos ecosistémicos importantes. Proteger la estructura característica de los ecosistemas	1. Iniciar planes de restauración en parches de bosque nativo aledaños que posean hábitats idóneos para <i>G. keule</i>	Aumentar área núcleo. Recuperar procesos ecosistémicos clave. Aumentar EOO local	1. Mantener y/o restaurar parches de gran tamaño y complejidad estructural de vegetación nativa aledaños	Aumentar la diversidad de especies. Proveer áreas núcleo
						2. Restaurar la matriz que es similar estructuralmente a la vegetación nativa	Aumentar la conectividad de los remanentes de bosque nativo. Reducir el efecto de borde. Reducir el contraste entre la matriz y el parche

### Estrategias de manejo a corto plazo sitio Tumbes\_1

Estrategias de manejo a corto plazo					
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Tumbes_1	1. Presencia de senderos	1. Identificar, marcar y generar plan de monitoreo de los individuos de <i>G. keule</i>	Mantener una base de datos con información poblacional actualizada	1. Eliminar progresivamente las especies exóticas invasoras	Disminuir la competencia
	2. Baja complejidad estructural.	2. Promover la recolección de semillas de <i>G. keule</i>	Generar pool de plántulas para restauración ecológica		
		3. Promover la prospección de la especie en sitios aledaños	Identificar nuevos sitios con presencia de la especie cercanos al sector		
	4. Especies exóticas dominantes de dosel.	4. Iniciar la producción de plántulas de <i>G. keule</i>	Disponer de plántulas para proceso de restauración ecológica	2. Cercar el perímetro del parche de bosque nativo con presencia de la especie	Evitar el ingreso de personas y animales al parche de bosque nativo
	5. Presencia de especies exóticas invasoras	5. Iniciar la producción de especies acompañantes arbóreas y arbustivas	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad estructural del ecosistema	4. Determinar el patrón espacial del ecosistema de referencia de la especie	Colectar información composicional, estructural y espacial para el plan de restauración

	<p>6. Tamaño de fragmento reducido</p> <p>7. Baja integridad ecológica</p>	<p>6. Educación ambiental en las juntas de vecinos.</p> <p>7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad.</p> <p>8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).</p>	<p>Concientizar a la comunidad respecto a la especie.</p> <p>Promover la protección de los bosques donde se encuentra la especie.</p> <p>Generar conocimiento científico.</p>		
--	--	--	---	--	--

### Estrategias de manejo a mediano plazo Tumbes\_1

Estrategias de manejo a mediano plazo							
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Tumbes_1	1. Presencia de senderos 2. Baja complejidad estructural. 4. Especies exóticas dominantes de dosel. 5. Presencia de especies exóticas invasoras 6. Tamaño de fragmento reducido 7. Baja integridad ecológica	1. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	1. Obtener especies acompañantes de diferentes alturas.	Aumentar la heterogeneidad vertical	1. Aumentar tamaño del parche de bosque nativo	Aumentar área núcleo
		2. Monitorear el estado de la población de <i>G. keule</i>	Identificar posibles procesos que estuvieran amenazando la continuidad de la especie	2. Iniciar procesos de restauración con especies acompañantes dentro y fuera del polígono de EOO local	Recuperar la complejidad estructural de los remanentes de bosque nativo y aumentar área núcleo	2. Generar un área buffer alrededor del parche de bosque nativo con presencia de la especie	Disminuir el contraste con la matriz y mitigar el efecto de borde
		2. Iniciar procesos de restauración ecológica dentro del polígono de EOO local	Aumentar el número de individuos de <i>G. keule</i> . Mejorar la heterogeneidad estructural de la población	3. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Analizar el progreso del manejo realizado.	3. Mantener las áreas de la matriz que posean heterogeneidad estructural	Disminuir el contraste, aumentar las áreas con potenciales de restauración

### Estrategias de manejo a largo plazo: Tumbes\_1

		Estrategias de manejo a largo plazo				Estrategias orientadas en patrones y/o procesos	
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Tumbes_1	1. Presencia de senderos 2. Baja complejidad estructural. 4. Especies exóticas dominantes de dosel. 5. Presencia de especies exóticas invasoras 6. Tamaño de fragmento reducido 7. Baja integridad ecológica	1. Mantener la interacción de especies clave y diversidad funcional	proteger procesos ecosistémicos importantes. Proteger la estructura característica de los ecosistemas	1. Iniciar planes de restauración en parches de bosque nativo aledaños que posean hábitats idóneos para <i>G. keule</i> .	Aumentar área núcleo. Recuperar procesos ecosistémicos clave. Aumentar EOO local	1. Mantener y/o restaurar parches de gran tamaño y complejidad estructural de vegetación nativa aledaños	Aumentar la diversidad de especies. Proveer áreas núcleo
				2. Iniciar planes de restauración en las áreas de la matriz colindantes que posean heterogeneidad estructural	Aumentar área núcleo. Recuperar procesos ecosistémicos clave. Disminuir contraste		

### Estrategias de manejo a corto plazo sitio Frutillares\_1

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a corto plazo			
		A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito
Frutillares_1	1. Presencia de senderos	1. Identificar, marcar y generar plan de monitoreo de los individuos de <i>G. keule</i>	Mantener una base de datos con información poblacional actualizada	1. Eliminar progresivamente las especies exóticas invasoras	Disminuir la competencia
	2. Presencia de bostas	2. Promover la recolección de semillas de <i>G. keule</i>	Generar pool de plántulas para restauración ecológica		
	2. Baja complejidad estructural	3. Prospeccionar sitios aledaños en busca de la especie	Identificar nuevos sitios con presencia de la especie cercanos al sector	2. Cercar el perímetro del parche de bosque nativo con presencia de la especie	Evitar el ingreso de personas y animales al parche de bosque nativo
	3. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica	4. Iniciar la producción de plántulas de <i>G. keule</i>	Disponer de plántulas para proceso de restauración ecológica		
		5. Iniciar la producción de especies	Disponer de especies acompañantes para mejorar la complejidad		

		acompañantes arbóreas y arbustivas	estructural del ecosistema		espacial para el plan de restauración.
		6. Educación ambiental en las juntas de vecinos.	Concientizar a la comunidad respecto a la especie.		
		7. Realización de talleres a nivel de comuna, aumentar la comunicación con el departamento de medio ambiente de la municipalidad.	Promover la protección de los bosques donde se encuentra la especie.  Generar conocimiento científico.		
		8. Realizar difusión científica a través de un lenguaje coloquial (redes sociales, boletines que lleguen a los colegios de la comuna).			

### Estrategias de manejo a mediano plazo: Frutillares\_1

Estrategias de manejo a mediano plazo									
Sitio	Condición actual	A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito		
Frutillares_1	1. Presencia de senderos	1. Obtener plantas de queule fisiológicamente resistentes a las condiciones ambientales.	Lograr en terreno la supervivencia de la especie en al menos dos temporadas	1. Obtener especies acompañantes de diferentes alturas.	Aumentar la heterogeneidad vertical	1. Generar un área buffer alrededor del parche de bosque nativo con presencia de la especie	Disminuir el contraste con la matriz y mitigar el efecto de borde		
	2. Presencia de bostas		Identificar posibles procesos que estuvieran amenazando la continuidad de la especie					2. Iniciar procesos de restauración con especies acompañantes dentro y fuera del polígono de EOO local	Recuperar la complejidad estructural de los remanentes de bosque nativo y aumentar área núcleo
	2. Baja complejidad estructural	2. Monitorear el estado de la población de <i>G. keule</i>	Aumentar el número de individuos de <i>G. keule</i> . Mejorar la heterogeneidad estructural de la población	3. Monitoreo de la plantación de especies acompañantes y de otros indicadores.	Analizar el progreso del manejo realizado.			2. Mantener las áreas de la matriz que posean heterogeneidad estructural	Disminuir el contraste, aumentar las áreas con potenciales de restauración
	3. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica	2. Iniciar procesos de restauración ecológica dentro del polígono de EOO local							

### Estrategias de manejo a largo plazo: Frutillares\_1

Sitio	Condición actual	Estrategias de manejo a largo plazo				Estrategias orientadas en patrones y/o procesos	
		A nivel de Especie	Propósito	A nivel de Comunidad/Ecosistema	Propósito	A escala de paisaje	Propósito
Frutillares_1	<p>1. Presencia de senderos</p> <p>2. Presencia de bostas</p> <p>2. Baja complejidad estructural</p> <p>3. Alto grado de fragmentación y baja integridad ecológica</p>	<p>1. Mantener la interacción de especies clave y diversidad funcional</p>	<p>proteger procesos ecosistémicos importantes. Proteger la estructura característica de los ecosistemas</p>	<p>1. Iniciar planes de restauración en parches de bosque nativo aledaños que posean hábitats idóneos para <i>G. keule</i></p>	<p>Aumentar área núcleo. Recuperar procesos ecosistémicos clave. Aumentar EOO local</p>	<p>1. Mantener y/o restaurar parches de gran tamaño y complejidad estructural de vegetación nativa aledaños</p>	<p>Aumentar la diversidad de especies. Proveer áreas núcleo</p>
				<p>2. Iniciar planes de restauración en las áreas de la matriz colindantes que posean heterogeneidad estructural</p>	<p>Aumentar área núcleo. Recuperar procesos ecosistémicos clave. Disminuir contraste</p>		

## 9. Diseño muestreo para análisis genético

Usando criterios de clusterización ambiental, se identificaron 4 grupos de puntos que se detallan en la Tabla 9 y Figura 44. Para cada una de las zonas, se crearon nuevos archivos shape (South.shp, South\_central.shp, North\_central.shp y North.shp) que se utilizaron en los análisis posteriores.

Tabla 9. Agrupamiento puntos de presencia de *G. keule*

Puntos	Grupo	Color asignado
1 - 20	South (sur)	Púrpura
21 - 324	South central (sur central)	Rosa
325 - 720	North central (norte central)	Naranja
721 - 855	North (Norte)	Verde

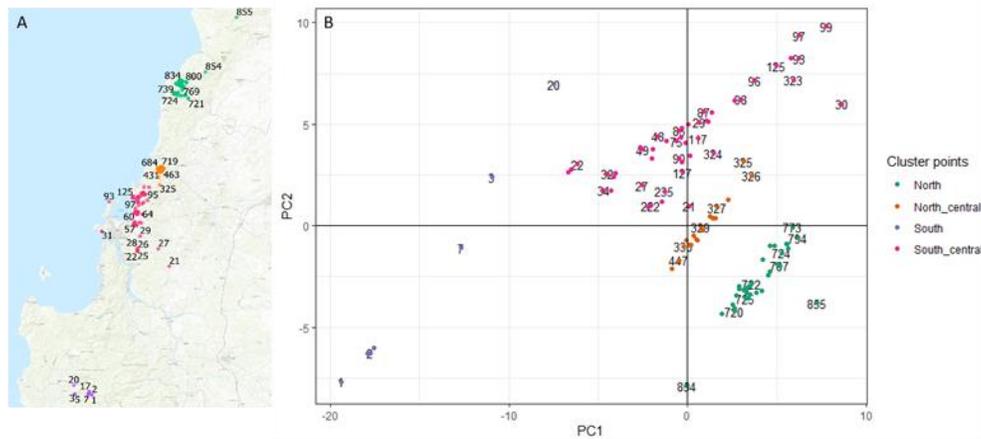


Figura 44. Diseño muestreo para análisis genéticos. A) Puntos de presencia de *G. keule*. B) PCA de 19 variables ambientales más altura. PC1 y PC2 explican 45% y 33% de varianza, respectivamente (79% en total). Cada color representa la asignación a los grupos.

Usando la distancia geográfica (Euclidiana) y la distancia ambiental, se crearon matrices de disimilitud por pares de puntos, correlacionando ambas matrices mediante un análisis de regresión lineal, lo cual permitió definir un total de 40 puntos a muestrear. De estos puntos, 29 coinciden con puntos de prospección para análisis poblacional y 11 puntos deben muestrearse únicamente con fines genéticos (Figura 45).



Figura 45. Distribución de puntos a prospectar para análisis genéticos en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío. En color rojo se indican los puntos que coinciden con los puntos para análisis poblacional y en verde los puntos exclusivos para el análisis genético.

## 9.1 Extracción de ADN

### *Estandarización extracción ADN masiva (en placa) de G. keule*

Con respecto al estado de las muestras, las hojas muestreadas en terreno se oxidaron en un rango de tiempo de 2 a 30 min, mientras que las hojas muestreadas en el laboratorio (desde una rama llevada al laboratorio) se oxidaron en el contorno dejado por los discos, pasadas las 2 horas desde la toma de los discos (Figura 46).

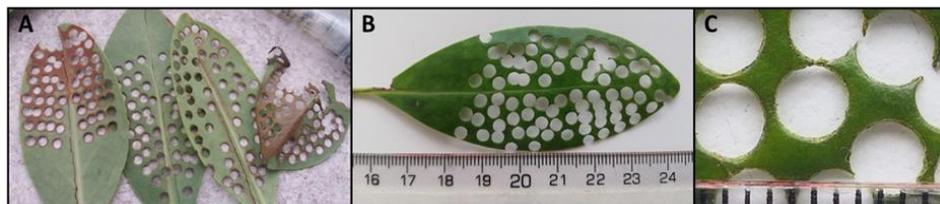


Figura 46. Estado de las hojas de *G. keule* posterior a la colecta de discos para la extracción de ADN. A) Hojas procesadas en terreno. B y C hojas procesadas en laboratorio.

Las muestras que fueron procesadas en terreno presentaron un estado avanzado de oxidación en la solución de lisis (SL) (Figura 47A). Esto puede deberse a que las hojas procesadas en el laboratorio fueron lavadas con agua destilada, lo que estaría evitando acción de microorganismos en la oxidación de la hoja. A ello se suma el hecho que las muestras que fueron procesadas en terreno no tuvieron una cadena de frío posterior a la colecta, lo que también pudo haber influido. Además, ambos tipos de muestras (procesadas en terreno y en laboratorio) homogenizadas con buffer SL-CTAB, presentaron gran cantidad de burbujas que no disminuyeron incluso después de agregado el buffer de neutralización (Figura 47B), lo que constituye un fenómeno poco común en este tipo de pruebas y que pudiera afectar el proceso de extracción. Las yemas fueron homogenizadas sólo en SL-SDS y con esferas de tungsteno, puesto que no alcanzó el material para otras pruebas.

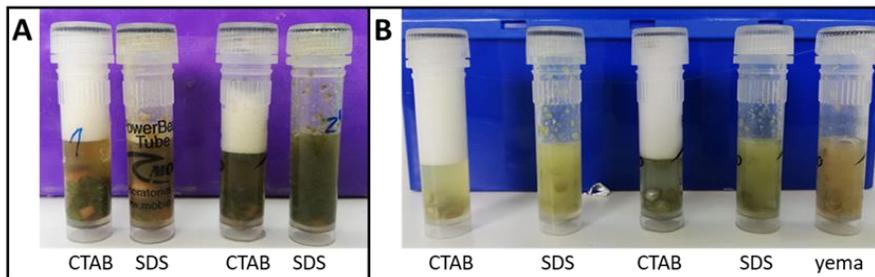


Figura 47. Estado de las muestras posterior a la homogeneización. A) Hojas procesadas en terreno, usando buffer de extracción SL-CTAB y SL-SDS. B) hojas y yemas procesadas en laboratorio, usando buffer de extracción SL-CTAB y SL-SDS. Las yemas fueron homogeneizadas en SL-SDS.

El ADN genómico se observa como una banda definida en un gel de agarosa al 1% (Figura 48). Para la interpretación de los resultados la intensidad de la banda indica (semi-cuantitativamente) cantidad de ADN. Como estándar de ADN genómico se utiliza el marcador Lambda (puede usarse como marcador de tamaño de peso molecular e integridad del ADN en el análisis del gel).

Una vez realizada la extracción, se observó que las muestras con mejores rendimientos corresponden a muestras homogeneizadas en buffer SL-SDS, homogenizadas con esferas de cerámica. Con respecto a la extracción con esferas de tungsteno, ésta fue más eficiente en yemas (Figura 48). Este último resultado es importante tener en cuenta, ya que para las extracciones masivas de ADN (placa) se utilizan este tipo de esferas.

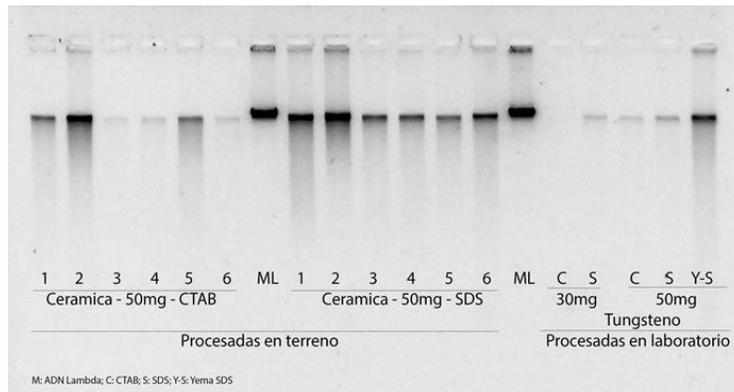


Figura 48. Visualización de ADN extraídos de hojas y yemas de *G. keule* utilizando distintas condiciones. Electroforesis en gel de agarosa 1% 70V 10 min. MI: 20 ng marcador ADN Lambda; C: buffer SL-CTAB; S: buffer SL-SDS; Y-S: Yema en buffer SL-SDS.

Finalizada esta primera etapa, se seleccionó preliminarmente como buffer SL con SDS y, a pesar de que se obtuvo mejores resultados con las esferas de cerámica, estas no pueden ser utilizadas en las extracciones masivas en placa. Debido a ello, en las futuras extracciones, se utilizarán esferas de tungsteno y como tipo de muestra de hoja, en caso de que no se cuente con yemas, tejido del cual se obtienen mejores resultados de rendimiento de ADN.

#### ***Estandarización extracción ADN masiva (en placa) de *G. keule*.***

Este tipo de extracción se realiza cuando se cuentan con más de 20 muestras, ya que se pueden procesar 96 muestras a la vez. Con el objetivo de estandarizar condiciones óptimas para la extracción masiva de ADN en placa, se realizó una segunda prueba de extracción con muestras de hojas de *G. keule*, utilizando diferentes tipos de reactivos de SL: 1) Buffer SL-SDS + 0,0075 gr/mL DTT + 1% PVP. 2) Buffer de extracción SL-SDS + 0,0075 gr/mL DTT + 4% PVP. 3) Buffer de extracción SL-SDS + 0,0075 gr/mL DTT. 4) Buffer de extracción SL-SDS + 1%PVP. 5) Buffer de extracción SL-SDS + 4% PVP. 6) Buffer SL-SDS. Se utilizaron 30 mg de material vegetal por muestra.

Una vez realizada la extracción, se observó que las muestras con mejores rendimientos corresponden a muestras homogenizadas en buffer SL-SDS + 1% PVP (Figura 49, condición 4).

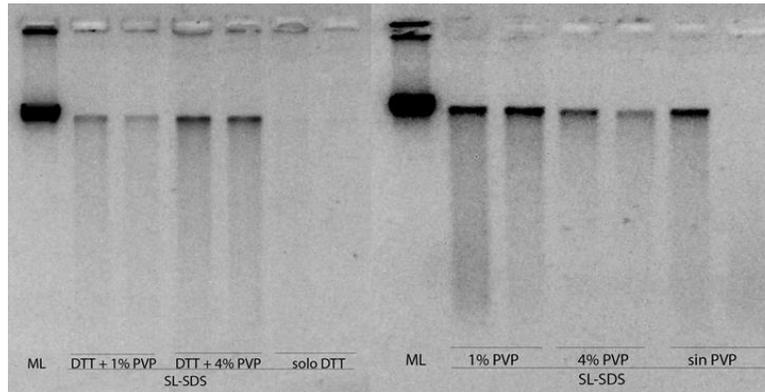


Figura 49. Visualización ADN extraídos de hojas de *G. keule* utilizando distintas condiciones en placa. Electroforesis en gel de agarosa 1% 70V 10 min. M: 20 ng marcador ADN Lambda. Cada condición se probó en duplicado para cada especie.

Con respecto a las condiciones de transporte de las muestras, logramos determinar que éstas deben ser envueltas en papel absorbente humedecido, guardadas dentro de bolsas tipo ziplock y transportadas en cooler con icepack congelados, ya que llegan en mejores condiciones al laboratorio y se conservan por más tiempo. Esto se evidencia en el estado de turgencia de los ápices, puesto que cuando las ramas son mantenidas húmedas, los ápices se mantienen verdes (Figura 50A), mientras que cuando son transportadas en bolsas de papel, los ápices llegan marchitos (Figura 50B), lo que influye posteriormente en la integridad del ADN.

Finalmente, se logró establecer las condiciones óptimas en cuanto a tipo de muestra y condiciones de la toma de muestra y procedimiento de la extracción de ADN. Las muestras con mejor rendimiento y concentración son las extraídas de los ápices de las ramas (Figura 50E), tejido que, al estar en crecimiento activo, contiene una mayor cantidad de células, lo que se traduce en mayor cantidad de ADN (Figura 50F). Por otro lado, las hojas semiexpandida y expandidas (Figura 50 C y D) son tejidos fotosintéticamente más activos y por lo tanto con mayor cantidad de azúcares y metabolitos secundarios, lo que afecta negativamente a la extracción de ADN, obteniendo concentraciones mucho más bajas que los ADNs extraídos desde ápices (Figura 50F). Este procedimiento fue validado en 22 individuos (Anexo 3).

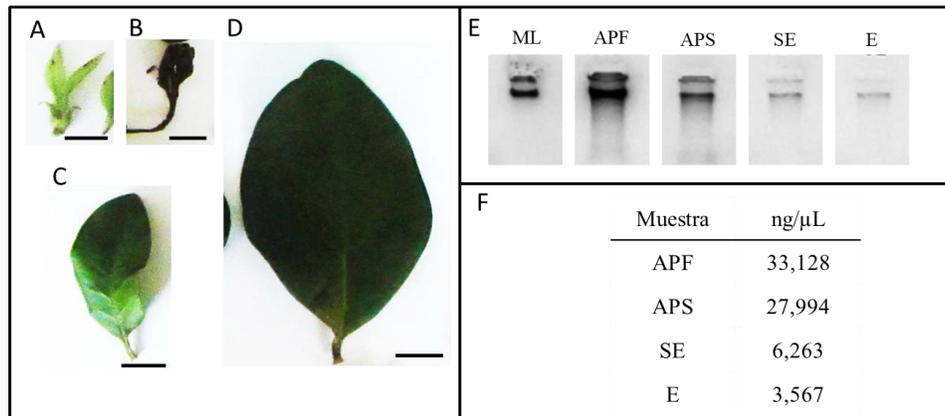


Figura 50. Estandarización extracción de ADN de *G. keule*. Tipos de tejidos utilizados en la estandarización: A) Ápice fresco (APF); B) Ápice marchito (APS); C) Hoja semiexpandida (SE); E) Hoja expandida (D). E) Visualización ADN extraídos de los tejidos analizados en electroforesis en gel de agarosa 1% 70 V 10 min. F) Concentración de ADN. ML: 20 ng marcador ADN Lambda. Las líneas indican una escala de 1 cm.

## 9.2 Puntos genéticos muestreados.

De las 40 localidades con presencia de *G. keule* seleccionados para visitar, en 10 de ellas no fue posible coleccionar debido a las siguientes razones: i) no se encontraron ejemplares de la especie; ii) no hubo autorización o fue imposible llegar al punto y iii) el punto de presencia no correspondió a la especie. Sin embargo, se sumaron 5 nuevos puntos no contemplados en la matriz original de puntos de presencia, de los cuales cabe destacar dos nuevos puntos septentrionales que ampliaron el actual límite norte de la especie. De esta manera, se coleccionaron muestras de 123 puntos para el análisis genético (Figura 51), de los cuales se seleccionarán 96 para la secuenciación y posterior determinación de la genómica poblacional de *G. keule*.

El diseño original de muestreo incluía puntos que arrojaron como resultado 4 estratos ambientales (Tabla 9). Sin embargo, durante el muestreo se incorporaron nuevos puntos de presencia (Figura 52A), que al incluirlos en el análisis de clusterización ambiental se generó un nuevo estrato ambiental, obteniendo en total 5 estratos ambientales diferentes (A, B, C, D y E) (Figura 52B, Tabla 10 y anexo 5).

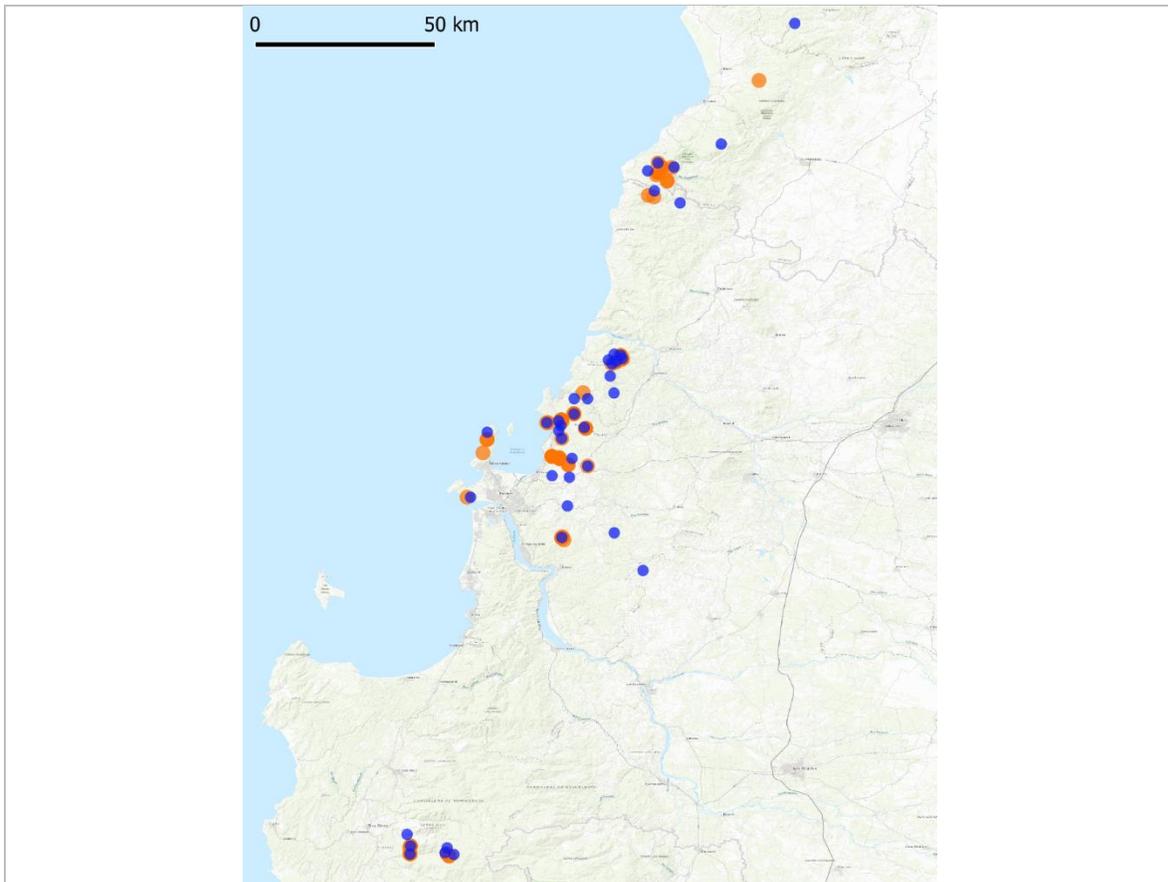


Figura 51. Puntos de presencia para análisis genético de *G. keule*. Los puntos azules corresponden a los puntos propuestos originalmente y en naranja los puntos de presencia muestreados para análisis genético.

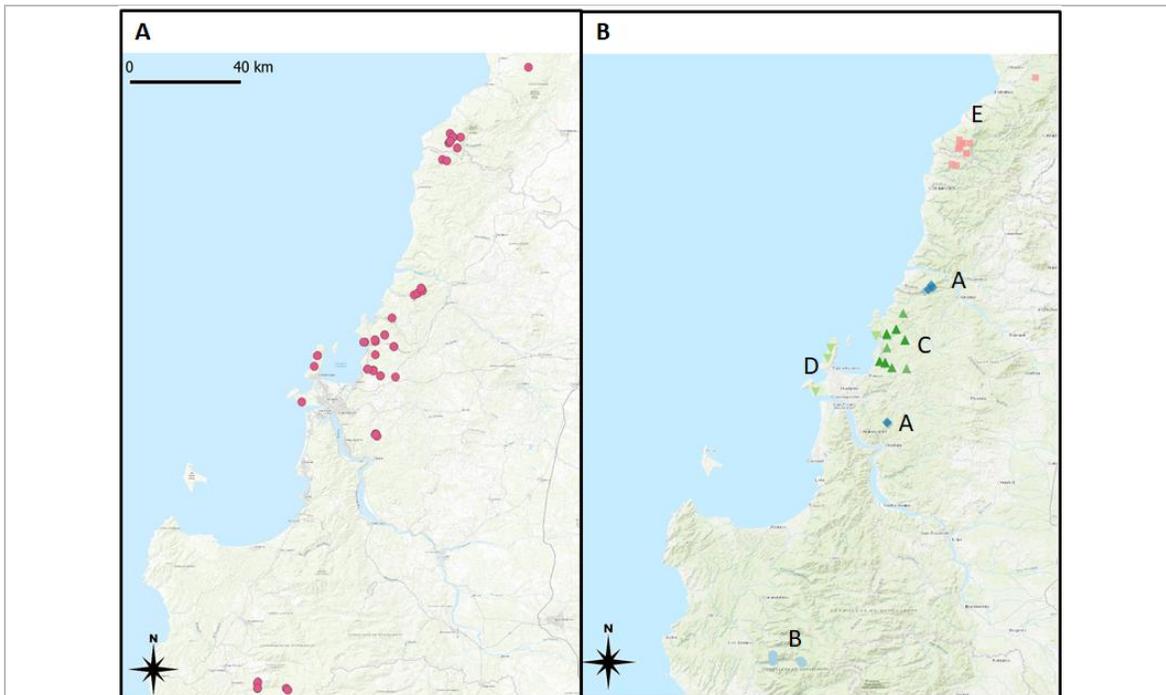


Figura 52. Puntos genéticos muestreados (A) y Puntos genéticos clasificados por estrato ambiental (B), donde cada color representa el estrato ambiental definido (A, B, C, D y E).

Tabla 10. Localidades muestreadas para análisis genético, agrupados según estrato climático.

Localidad	Estrato	Grupo genético
Caramavida	B	Sur
Cuyinco Alto		
Pino Huacho		
Quilteu	A	Centro
Hualqui		
Hualpén	D	
Tome costa		
Tumbes		
El Arrayan	C	
Los Coihues		

Donihue		
Frutillares		
Hijuelas		
Buena Esperanza		
Lirquen		
Menque		
Tome Cerro		
La Aguada	E	Norte
El Carmín		
Quile		
Guayguay		
Reserva Los Queules		

### 9.3 Puesta a punto secuenciación

El análisis de los sistemas enzimáticos disponibles en BCWU mostró que la mejor combinación de enzimas para *Gomortega keule* es PstI/MspI (Figura 53). Se observa una librería genómica con tamaños de fragmentos bien distribuidos entre 200 y 400 pb cuando se utiliza PstI/MspI. En cambio, se detectan fragmentos sobre-amplificados en tamaños discretos con NsiI/MspI o PstI/BfaI, ausencia de librería con ApeKI o sobre-amplificación general con NsiI/BfaI.

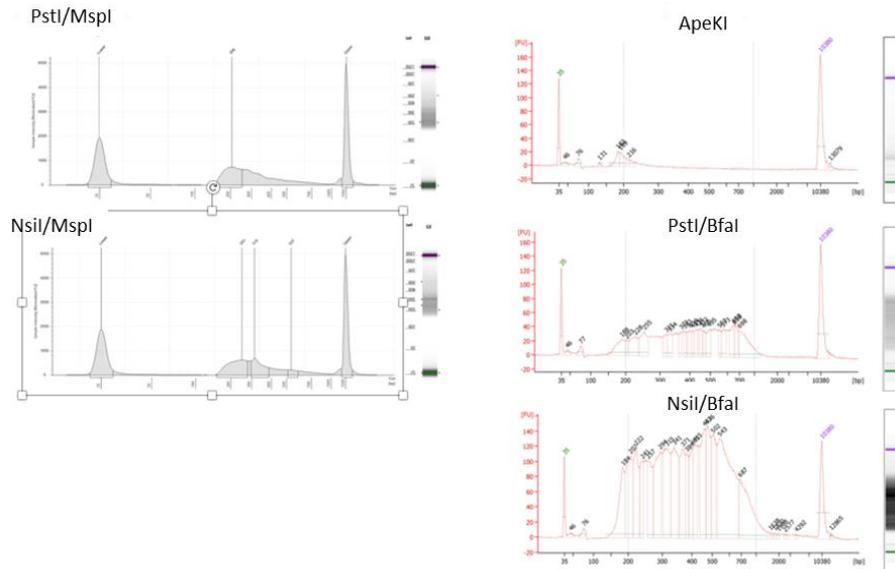


Figura 53. Electroferograma mostrando el resultado de las librerías genómicas de prueba generadas con los distintos sistemas enzimáticos para GBS disponibles en BCWU en *G. keule*.

#### 9.4 Genotipificación de SNPs usando GBS

En el procesamiento de los datos brutos se identificaron 404.860.481 lecturas que fueron recuperadas para hacer el llamado de SNP. Luego del demultiplexado y control de calidad, aproximadamente el 97,49% de las lecturas recuperadas resultaron viables para los análisis posteriores (Tabla 11). El número de lecturas viables por individuo varió desde 2.697 (S5 QUI opqui; muestra con menor cobertura) a 24.106.799 (S5 QUI tg6; muestra con mayor cobertura). Se eliminaron 8 individuos de los análisis posteriores debido a que presentaban gran cantidad de datos perdidos (> 80%).

Tabla 11. Detalle del número de reads recuperados y SNPs llamados utilizado en los análisis.

	<b>Total</b>
<b>Lecturas brutas obtenidas</b>	404.860.481
<b>Lecturas utilizables para llamado de SNPs</b>	394.701.351
<b>SNP llamados</b>	323.739
<b>SNP retenidos</b>	43.953
<b>loci bajo selección</b>	1.107

### 9.5 Determinación de diversidad genética.

Para todos los loci, el valor promedio de la heterocigosidad esperada fue mayor al valor promedio de la heterocigosidad observada (Tabla 12), lo cual puede sugerir una posible endogamia en el sistema de apareamiento. Para todas las localidades (Tabla 12), la heterocigosidad observada y la heterocigosidad esperada oscilaron entre 0,174 (Cuyinco) a 0,368 (La Aguada) y 0,182 (Cuyinco) a 0,348 (Reserva los Queules), respectivamente. En general, la heterocigosidad observada resultó ( $H_o$ ) algo inferior a la esperada ( $H_s$ ).

Como consecuencia, los valores de los coeficientes de endogamia  $G_{is}$  resultaron positivos, pero muy cercanos a 0 (Tabla 13). El coeficiente de endogamia es un parámetro que estima la variabilidad dentro de una población y es una medida de la reducción en la heterocigosidad debida a los apareamientos no aleatorios en la población, indicando así el nivel de endogamia (Revidatti 2009). Para este estudio, el valor general de  $G_{is}$  de *G. keule* es 0.067 (Tabla 13) lo que da indicios que el cruzamiento que podría ocurrir en *G. keule* es entre individuos que se encuentran emparentados o que su tipo de reproducción es mayoritariamente asexual (Addison y Hart 2005).

Tabla 12. Índices generales de diversidad genética de *G. keule* basado en 43.953 SNPs.

Descripción	Valor	Desv. estn	c.i.2.5 (%)	c.i.97.5 (%)
Número de alelos	2.023	0.001	2.021	2.024
Heterocigosidad observada	0.282	0.001	0.281	0.283
Heterocigosidad esperada	0.302	0.001	0.301	0.303
Heterocigosidad total	0.361	0.001	0.360	0.362
Coefficiente de endogamia	0.067	0.001	0.064	0.070

Tabla 13. Índices de diversidad genética por localidades de *G. keule* basado en 43.953 SNPs.

Localidades	Num	Eff_num	Ho	Hs	Gis
Caramávida	1.678	1.449	0.232	0.302	0.232
Cuyinco	1.379	1.252	0.174	0.182	0.046
Pino Huacho	1.414	1.289	0.207	0.202	-0.023
Quilteu	1.892	1.533	0.301	0.336	0.106
Hualqui	1.571	1.374	0.221	0.249	0.112
Tomé	1.813	1.491	0.296	0.322	0.083
Tumbes	1.781	1.490	0.298	0.334	0.109
El Arrayan	1.561	1.385	0.319	0.260	-0.226
Los Coihues	1.547	1.400	0.300	0.305	0.014
Frutillares	1.731	1.455	0.303	0.303	-0.002
Hijuelas	1.650	1.443	0.300	0.319	0.057
Lirquén	1.699	1.449	0.284	0.304	0.065
Menque	1.653	1.446	0.295	0.323	0.088
La Aguada	1.670	1.466	0.368	0.320	-0.152
Quile	1.883	1.540	0.300	0.344	0.128
Reserva los Queules	1.909	1.552	0.310	0.348	0.111

### ***Estructura genética poblacional de G. keule.***

El análisis de componentes principales (PCA) aplicado sobre las distancias genéticas entre individuos de *G. keule* indica la presencia de 3 grupos genéticos: un grupo norte, conformado por las localidades del estrato ambiental E, un grupo central agrupando las localidades de los estratos ambiental A, C, D, y el grupo genético sur, conformado por las localidades del estrato ambiental B (Figura 54A). El primer componente (7.23%) separa al grupo genético centro de los grupos genéticos Norte y Sur, mientras que el 2do componente (5,42%) separa al grupo genético B y E.

Al analizar el PCA de las distancias genéticas calculadas sobre la matriz de *loci* putativamente bajo selección (Figura 54B), se puede observar que la varianza de la distancia genética disminuye entre las localidades pertenecientes a los estratos ambientales A, C y D y aumenta entre el grupo genético centro y los grupos genéticos Norte y Sur (PC1= 34,56%; PC2= 11,91%).

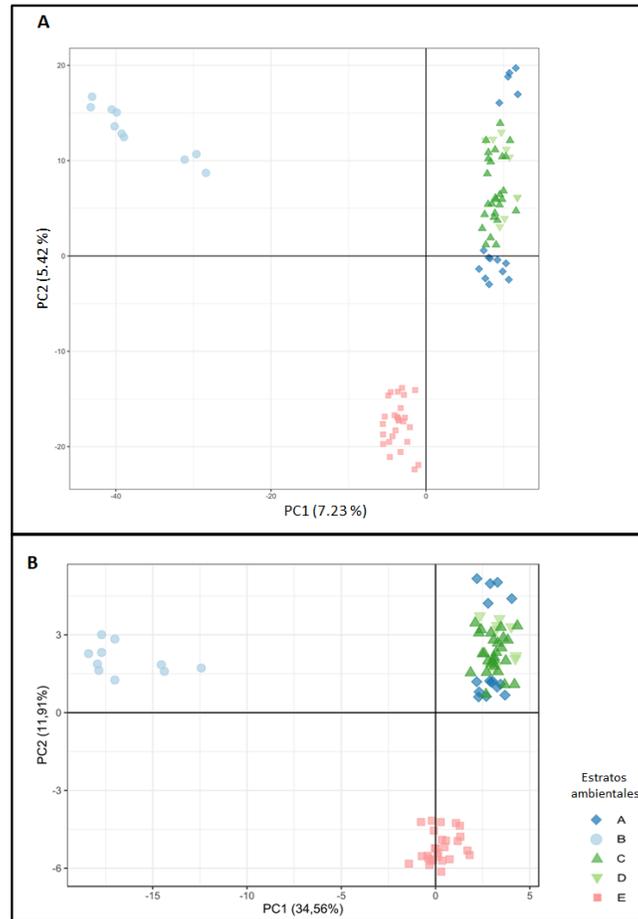


Figura 54. Análisis de Componentes Principales de distancia genética entre individuos. A) distancia genética neutral. B) Distancia genética adaptativa. Los círculos representan individuos del grupo genético sur, los triángulos a individuos de grupos genético centro y los cuadrados a individuos del grupo genético norte. Los colores representan los distintos estratos ambientales definidos en la Tabla 10.

Una tendencia similar se puede observar en los árboles UPGMA neutral (Figura 55A), donde el agrupamiento de las localidades pertenecientes a los estratos ambientales A, C y D se forman el grupo genético centro (rojo en Figura 55A), y las localidades de los estratos ambientales B y D forman los grupos genéticos sur (verde) y norte (azul), respectivamente. Este agrupamiento se puede observar aún más claro cuando el árbol se construye utilizando la distancia genética adaptativa, calculada desde los *loci* putativamente bajo selección (Figura 55B).

La distancia genética adaptativa es mayor entre grupos genéticos que entre los individuos, por lo que las localidades presentes en el A, C y D se agrupan en el mismo clado (rojo). Mientras que las localidades del estrato ambiental B (verde) y E (azul), se agrupan en los grupos genéticos sur y norte, respectivamente. Sin embargo, las localidades pertenecientes al grupo genético norte y grupo genético centro, tienen un ancestro común más cercano, respecto al ancestro común con el grupo genético sur (Figura 55B).



letra de las localidades hace referencia al estrato ambiental mostrado en la Tabla 10. Los puntos negros en los nodos indican cladogramas con soporte > 99.9%.

Para determinar las diferencias genéticas entre pares de estratos ambientales, se calcularon los valores  $F_{ST}$  y su significancia estadística mediante permutaciones con un intervalo de confianza del 95% (Tabla 14). El valor del índice de fijación  $F_{ST}$  indica que cuando es 1 no existe flujo génico entre las localidades, mientras que los valores cercanos a 0 dan a conocer la presencia de panmixia (Vendrami et al., 2018). Los pares de estratos ambientales con la menor diferencia genética determinados por los valores  $F_{ST}$  corresponden a los estratos C y D ( $F_{ST}= 0.014$ ), mientras que los estratos ambientales B y D presentan la mayor diferencia genética ( $F_{ST}= 0.266$ ). Estos valores podrían indicar que existe un gran flujo génico entre las localidades pertenecientes a los estratos ambientales C-D, C-A ( $F_{ST}= 0.049$ ) y D-A ( $F_{ST}= 0.042$ ).

Los cálculos de  $F_{ST}$  que consideran el estrato ambiental B tiene los valores  $F_{ST}$  más alto, lo que podría estar indicando flujo génico limitado entre las localidades que lo componen y las localidades de los estratos ambientales A, C, D y E.

Tabla 14. Valores de  $F_{ST}$  entre estratos ambientales basados en 43.953 SNPs.

Estrato	A	B	C	D	E
A	-				
B	0.257	-			
C	0.049	0.232	-		
D	0.042	0.266	0.014	-	
E	0.109	0.219	0.102	0.107	-

Nota: todos los  $P$ -value fueron < 0.001

### ***Número de poblaciones ancestrales.***

La estructura genética ancestral de las poblaciones de *G. keule* fue inferida en base al análisis de los SNPs utilizando el criterio de entropía del análisis de sNMF. Así, el valor óptimo del criterio de entropía (Figura 56B) señala que para  $K=3$  el modelo que mejor se ajusta a los datos genéticos de los individuos de *G. keule* consta de 3 clusters o poblaciones ancestrales, representadas por los colores azul, rojo y verde (Figura 56A).

Debido a que las localidades del grupo genético norte (azul) y centro (rojo) tienen un ancestro en común cercano, la estructura obtenida revela la presencia de mezcla genética de forma longitudinal entre los individuos presentes en estos dos grupos, y que al parecer no comparten mezcla genética con los individuos del grupo sur (verde) (Figura 56A).

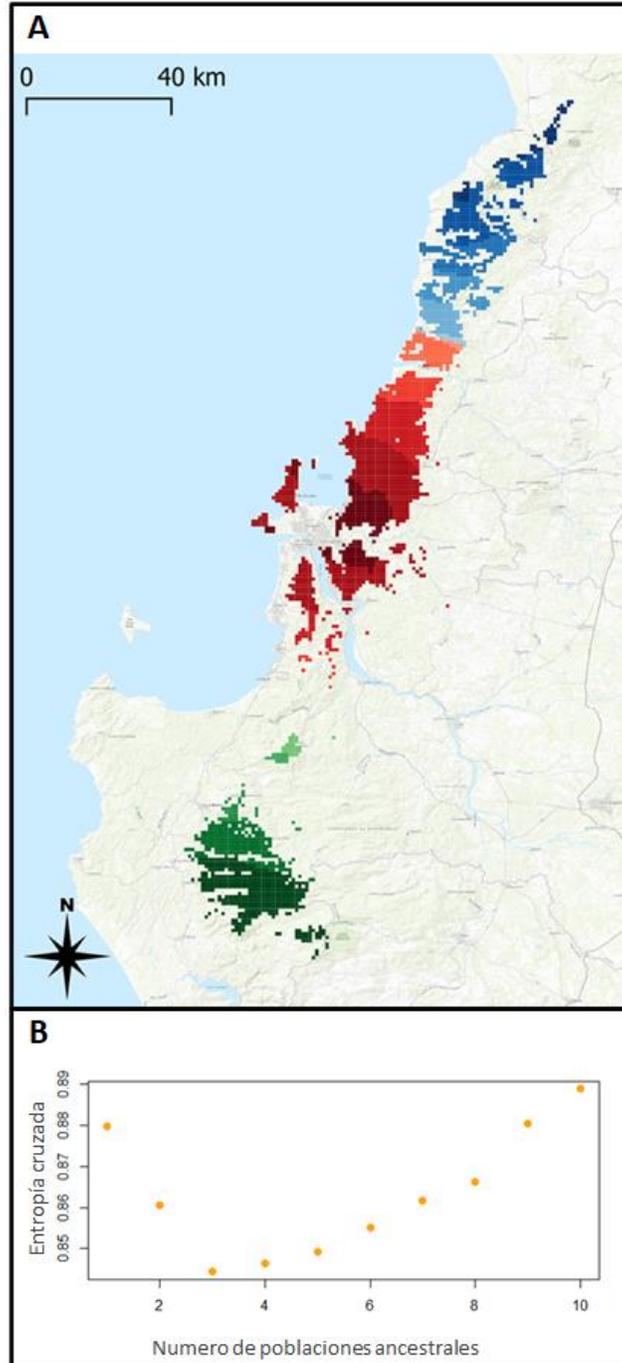


Figura 56. Ancestría de *G. keule*. A) Mapa de probabilidad de pertenencia a los 3 grupos ancestrales de *G. keule*. Colores más oscuros indican una mayor probabilidad de pertenecer al grupo ancestral. B) Número de poblaciones ancestrales identificadas por análisis de *snmf* mediante entropía cruzada ( $K=3$ ).

Debido a la mezcla genética entre los grupos ancestrales del norte (azul) y centro (rojo), se podría definir dos escenarios indicando el centro de origen de la diversidad genética. Para el primer escenario, el centro de origen de *G. keule* podría encontrarse en la zona norte de la distribución norte, y en la zona sur de la distribución central. Esto se puede apreciar debido a que durante la expansión de la especie desde estos dos centros de origen (Norte a centro y centro a norte), existe una zona de contacto en la que ocurre la mezcla genética entre ambos centros de origen (cercano al río Itata). El segundo modelo de expansión podría situar el centro de origen de la especie en el río Itata, lugar donde la diversidad genética de la especie es mayor, por lo que al ir expandiendo su área de distribución, los alelos adaptativos que permitieron la colonización a nuevos lugares se fueron fijando para el ancestro del grupo norte (azul) y el ancestro del grupo centro (rojo).

Para ambos escenarios descritos, al parecer el grupo ancestral sur tuvo una historia evolutiva independiente a los ancestros del grupo central y norte. Sin embargo, se requieren más estudios para poder comprobar estas hipótesis.

### ***Visualización de variación genética-ambiental.***

La variable ambiental relacionada con la precipitación (bio 15; coeficiente de estacionalidad de precipitaciones) es la variable que mayormente explica la variabilidad genética adaptativa para la especie de *G. keule*, en segundo lugar, la temperatura (bio2; promedio del rango diario de temperatura) y en 3er lugar la elevación (msnm) (Figura 57).

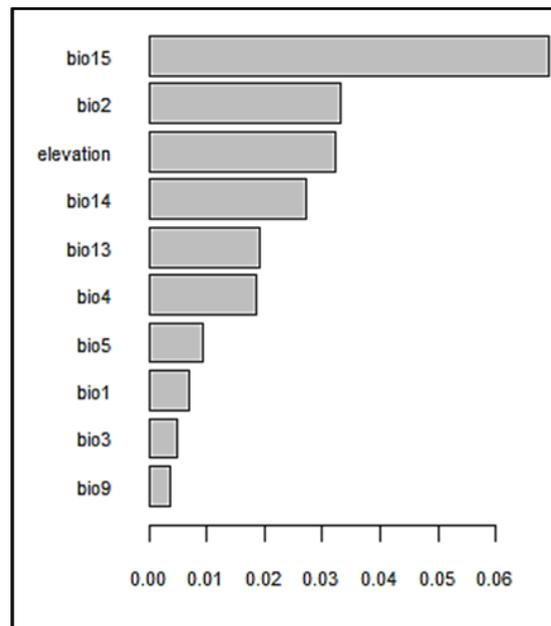


Figura 57. Importancia relativa de los predictores ambientales utilizados en el análisis de *gradient forest*.

Por lo que se podrían identificar SNPs que muestran una fuerte respuesta a los gradientes ambientales en la distribución natural de *G. keule*, indicando que no solo *loci* putativamente bajo selección, sino que también el lugar donde los gradientes en la frecuencia alélica son más pronunciados.

Se observa que el coeficiente de estacionalidad es mayor en la zona norte de la distribución natural de *G. keule*, disminuyendo gradualmente hacia el sur (Figura 58A). Lo mismo ocurre con el promedio de rango diario de temperatura (bio2), donde existe un gradiente longitudinal, aumentando gradualmente desde la planicie costera hacia la cordillera de la costa (Figura 58B). Sin embargo, el gradiente mayor se puede observar en las localidades al sur de la distribución natural de *G. keule*, donde la altura (msnm) aumenta considerablemente en una corta distancia (Figura 58C).

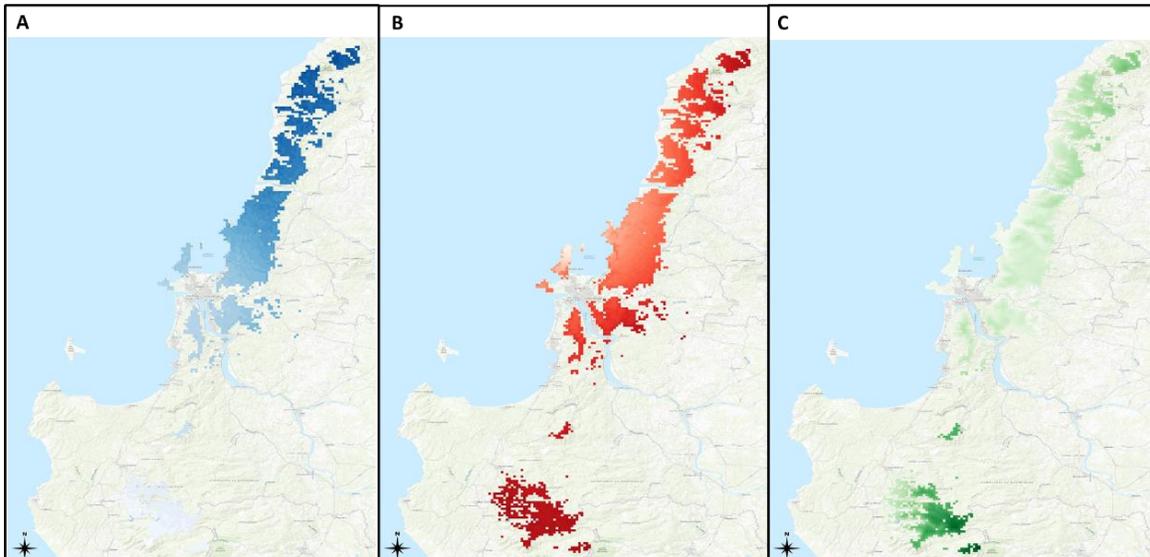


Figura 58. Gradientes de variables climáticas en la distribución natural de *G. keule*. A) Coeficiente de estacionalidad de precipitaciones. B) Promedio de rango diario de temperatura. C) Altitud (msnm). Colores más oscuros representan valores más altos para coeficiente de estacionalidad (azul), rango diario de temperatura (rojo) y altura (verde).

Las proyecciones mapeadas de GF en el paisaje son generalmente concordantes con la magnitud de las variables ambientales que mejor explican la distribución genético-ambiental (Figura 59), donde se observa una mezcla genética entre las localidades de la distribución norte y central. El grupo genético norte se divide en dos macrozonas, verde (norte) y azul (sur). Mientras que el grupo genético centro se observa una gran macrozona (morado), donde en la zona norte del grupo genético central presenta mezcla con la macrozona sur (azul) del grupo genético norte (Figura 59). EL grupo genético sur, se divide en dos macrozonas, una en la planicie costera (rosa) y una emplazada sobre la cordillera de la costa (amarilla), probablemente determinada por la variación en altura que existe en la zona (Figura 59). No se observa mezcla genética entre el grupo genético sur con el grupo genético del centro y norte, esto podría significar que las localidades del sur poseen alelos únicos que se correlacionan con las variables ambientales presentes en el lugar, lo que conlleva a una historia evolutiva diferente a la de los grupos genéticos del centro y norte.

Si la selección natural divergente ha llevado a una diferenciación genética entre las localidades del sur y centro-norte de *G. keule* a lo largo de los gradientes ambientales de su distribución natural, se debería esperar un patrón de “aislamiento por ambiente” (IBE), donde las diferencias genéticas entre localidades aumentan con el aumento de las diferencias ambientales (Wang & Bradburd, 2014), limitando así el flujo de genes entre los individuos establecidos y los nuevos inmigrantes (Wang y Summer, 2010; Wang y Bradburd, 2014).

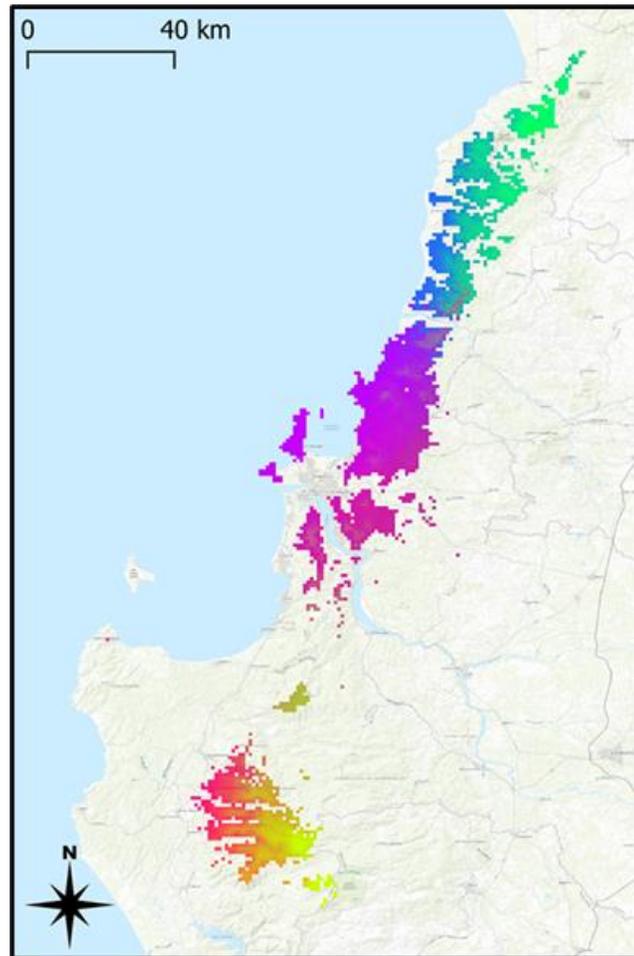


Figura 59. Variación genética-espacial predicha en la composición genética a nivel de población de *G. keule*. Las localidades con colores similares albergan poblaciones con composición genética similar.

Por lo tanto, para la introgresión de nuevo material vegetal (ej. conservación *ex situ*) se debe tener en cuenta estas limitaciones (mal adaptación y IBE), de esta forma asegurar el éxito en el establecimiento de las nuevas plantas. Cuando se mapean en el espacio geográfico los patrones de composición genética de los SNP selectivos predichos por GF (Figura 59), se puede observar que las localidades con colores similares albergan individuos con una composición genética similar. Es decir, los *loci* que se correlacionan con las variables ambientales tienen una frecuencia alélica similar entre las localidades.

Utilizando un modelo de proyección para el clima futuro sobre la distribución natural de *G. keule*, se podría identificar los cambios previstos en los patrones de lluvia y temperatura, identificando aquellas zonas donde ocurriría la mal adaptación genética, lo que se traduce en que esta especie no sea capaz de adaptarse al entorno (Gugger et al. 2017). Estos hallazgos indican que el conocimiento de los gradientes de lluvia actuales y futuros puede proporcionar información valiosa para la conservación

de las poblaciones existentes y también ayudar a refinar las pautas de transferencia de propágulos para los programas de conservación *ex situ* de *G. keule*.

## CONCLUSIONES

La diversidad genética adaptativa se correlaciona mejor que la diversidad genética neutral con la variación ambiental donde se distribuye naturalmente la especie *Gomortega keule*.

La especie está actualmente estructurada genéticamente en tres poblaciones o linajes ancestrales cuyos límites geográficos aproximados son el Río Maule y el Río Biobío. Dichos límites deben ser cuidadosamente respetados cuando se trata de translocación de materiales reproductivos como por ejemplo semillas y plantas.

El coeficiente de estacionalidad de la precipitación, el promedio de rango diurno de temperatura y la elevación (msnm) son los factores ambientales que determinan su capacidad de adaptación y probablemente la presencia de alelos claves para su supervivencia o el éxito de la restauración.

## IX. FUTUROS PASOS

### Marco de investigación en la ciencia de la conservación

Para lograr la conservación efectiva y eficiente de la especie *G. keule*, es urgente identificar y atender las causas directas e indirectas que están detrás de las amenazas evaluadas en el presente informe. Una vez determinadas las amenazas y sus causas se deben proponer respuestas a cada una, es decir proponer acciones multi-sectoriales que permitan atender las diferentes causas. Estas acciones se deben diseñar, implementar y monitorear para corroborar que estén generando un efecto positivo en la especie.

Se sugiere que los próximos pasos a seguir se enfoquen en lo siguiente:

1. Atender los mecanismos amenazantes y sus causas:
  - Iniciar proceso de planificación de un paisaje multifuncional a partir de un enfoque multi-sectorial, multi-nivel y multi-escala.
  - Coordinar esfuerzos de fiscalización con CONAF y vigilancia con la comunidad.
  - Regular la extracción de frutos de *G. keule*.
  - Crear cortafuegos y zonas de protección contra incendios.
  - Promover incentivos económicos para la conservación *in-situ*.
  - Identificar los bosques de preservación de *G. keule* y asegurar su protección en el largo plazo.
2. Respuestas a las amenazas e impactos
  - Implementar acciones de conservación *exsitu* de sitios altamente amenazados y degradados y con alto valor genético y geográfico.
  - Iniciar la restauración ecológica en sitios degradados con potencial de recuperación (metas sociales y ecológicas).
  - Resguardar los sitios con presencia de *G. keule* de mayor integridad ecológica mediante un programa de conservación *in-situ*.
  - Implementar la creación de áreas protegidas público y/o privadas basadas en un proceso de priorización espacial sistemática para la conservación.
  - Aplicar enfoques multi-escala y multi-nivel para la implementación de acciones de conservación (ej. áreas núcleos, corredores de fauna, diversidad genética, etc).
  - Mantener una base de datos georreferenciadas de los mecanismos amenazantes y atributos poblaciones y ecosistémicos de los sitios con presencia de *G. keule*.



Chile  
en marcha



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



Laboratorio  
De Ecología  
De Paisaje



## X. REFERENCIAS

Alvarez, A. S., and J. S. M. Acevedo 1999. Las comunidades relictas de *Gomortega keule* (Gomortegaceae, Magnoliopsida) en Chile central. Pages 317-326. Anales del Jardín Botánico de Madrid. Real Jardín Botánico.

Azpilicueta, M. Gallo, L. van Zonneveld, M. Thomas, E. Moreno, C. Marchelli, P. (2013). Management of *Nothofagus* genetic based on a combination of nuclear and chloroplast marker data. *Forest Ecol Manag* 302:414-424.

Boehm, J. T., J. Waldman, J. D. Robinson, and M. J. Hickerson. (2015). Population genomics reveals seahorses (*Hippocampus erectus*) of the western mid-Atlantic coast to be residents rather than vagrants. *PLoS ONE* 10:e0116219.

Burgman MA, Fox JC 2003. Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Anim Conserv* 6:19–28

Brandies, P. Peel, E. Hogg, C.J. and Belov, K. (2019). The Value of Reference Genomes in the Conservation of Threatened Species. *Genes*, 10(846): 1-17.

Edelsbrunner H, Kirkpatrick D, Seidel R 1983. On the shape of a set of points in the plane. *IEEE Trans Inf Theory* 29:551–559.

Ellis, N. Smith, S. Pitcher, R. (2012). Gradient forests: calculating importance gradients on physical predictors. *Ecology*, 93, 156-168.

Fitzpatrick y Keller, (2014). Ecological genomics meets community-level modelling of biodiversity: mapping the genomic landscape of current and future environmental adaptation. *Ecology letters*, 18.

Frichot, E., F. Mathieu, T. Trouillon, G. Bouchard, and O. François. (2014). Fast and efficient estimation of individual ancestry coefficients. *Genetics* 196:973–983.

Frichot, E., O. François. (2013). Testing for associations between loci and environmental gradients using latent factor mixed models. *Molecular Biology and Evolution* 30:1687–1699.

Gugger, P. Liang, C. Sork, V. Hodgskiss, P. Wright, J. (2017). Applying landscape genomic tools to forest management and restoration of Hawaiian koa (*Acacia koa*) in a changing environment. *Evolutionary Applications*, 11, 231-242.

Hechenleitner, V., and M. F. Gardner 2005. Plantas amenazadas del centro-sur de Chile. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo.

Jombart, T. (2008). adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*, 24, 1403-1405.

Kamvar, Z. N., Brooks, J. C., & Grünwald, N. J. (2015). Novel R tools for analysis of genome-wide population genetic data with emphasis on clonality. *Frontiers in genetics*, 6, 208. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00208>

Luu, K. Bazin, E. Blum, M. (2017). pcadapt: an R package to perform genome scans for selection based on principal component analysis. *Molecular Ecology*, 17, 67-77.

Paradis E. and Schliep K. 2018. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics* 35: 526-528.

Selmoni, O., Vajana E., Guillaume, A., Rochat, E. and Joost, S. (2019). Sampling strategy optimization to increase statistical power in landscape genomics: A simulation-based approach. *Molecular Ecology Resource* 00: 1– 16

Shryock, D. F., Havrilla, C. A., DeFalco, L. A., Esque, T. C., Custer, N. A., & Wood, T. E. (2017). Landscape genetic approaches to guide native plant restoration in the Mojave Desert. *Ecological applications*, 27(2): 429-445.

Storey, JD. Bass, AJ. Dabney, A. Robinson, D. (2019). qvalue: Q-value estimation for false discovery rate control. R package version 2.16.0, <http://github.com/jdstorey/qvalue>.

Torkamaneh, D.; Laroche, J.; Belzile, F. (2016) Genome-wide SNP calling from genotyping by sequencing (GBS) data: A comparison of seven pipelines and two sequencing technologies. *PLoS ONE*, 11, e0161333.

Vendrami D, Noia M, Telesca L, Handal W, Charrier G, Boudry P, Phillips L, Hoffman J. 2018. RAD sequencing sheds new light on the genetic structure and local adaptation of European scallops and resolves their demographic histories. *Scientific Reports*. 9:7455.

Wang, I.J., Bradburd, G.S. (2014). Isolation by environment. *Molecular Ecology*, 23, 5649–5662

Wang, I.J., Summers, K. (2010). Genetic structure is correlated with phenotypic divergence rather than geographic isolation in the highly polymorphic strawberry poison-dart frog. *Molecular Ecology*, 19, 447–458.



## Anexo 2. Instructivo para determinar los tipos de muestreo y uso de fichas

**RECORRIDO:** Se utilizará el recorrido y la ficha de prospección 1 cuando sean áreas con hábitat de alto potencial para la especie objetivo. Se recomienda determinar previamente las áreas de hábitat de alto potencial marcándolas en un mapa. Los viajes de reconocimiento en terreno pueden ser necesarios para la planificación. Si en el reconocimiento el número de individuos es alto, es necesario utilizar la ficha 2, donde se colectaran datos básicos como la coordenada de cada árbol adulto, el DAP y altura.

**PARCELA:** Se utilizará la parcela para evaluar sistemáticamente un área completa. Se recomienda hacer mínimo 3 parcelas cuadradas de 20\*20 m, que sean representativas de toda la superficie. En cada parcela se utilizará la ficha de prospección 2 donde se colectaran datos básicos como las coordenadas de cada árbol adulto, el DAP y la altura. Si no es posible completar tal ficha, los esfuerzos se enfocaran en la realización de la ficha de prospección 1.

**TRANSECTO:** Se utilizará el método de transecto para cubrir áreas grandes y heterogéneas de manera rápida pero más sistemática que el método del recorrido. Se recomienda realizar mínimo 3 transectos (10\*50m) separados por 3 metros aproximadamente, para medir los individuos arbóreos de la especie objetivo. En cada transecto se utilizará la ficha de prospección 2, donde se colectaran datos básicos como las coordenadas de cada árbol adulto, el DAP y la altura. Si no es posible completar tal ficha, los esfuerzos se enfocaran en la realización de la ficha de prospección 1.

## Anexo 3. Extracción de ADN de 22 individuos, utilizando distintos tipos de tejido.



#### Anexo 4. Procedimiento de toma de muestra de *G. keule* para análisis genéticos.



#### Procedimiento colecta muestras de Queule para análisis genéticos

1. Identificar el individuo a muestrear, registrar localización (GPS) y seleccionar una rama que claramente pertenezca al individuo identificado (Fig. 1). Se deben muestrear como 5 individuos por localidad.
2. Observar y corroborar que ápice y hojas de la rama elegida (Fig. 2) estén sanas (Fig. 3), sin presencia de manchas (posible infección de hongos o bacterias) ni rastros de herbivoría (Fig. 4), tanto en la parte superior como en el envés. No hay inconvenientes si la rama u hojas tienen polvo o tierra.
3. En caso de que los troncos estén alrededor de un tocón (Fig. 5), se debe muestrear solo uno de ellos.
4. Cortar la rama seleccionada de un máximo de 10 cm de largo, de preferencia ramas que tengan ápice verde claro y al menos 4 hojas semiextendidas o extendidas.
5. Marcar con cinta de papel adhesivo, con nombre o referencia al punto de GPS, envolver en papel absorbente humedecido, guardar dentro de bolsas tipo ziplock y transportar en cooler con icepack congelados.
6. Conservar las muestras lo más fresco posible, durante su traslado al laboratorio. Evitar exponer a altas temperaturas. En caso de no poder entregar las muestras el mismo día de la colecta, guardar en refrigerador a 4°C.



#### Contacto:



arianabertin@gmail.com  
rodrigohasbun@udec.cl



+56962272219 (Ariana)  
+56993287303 (Rodrigo)



Laboratorio de  
Epigenética Vegetal

Anexo 5. Cladograma de estratos ambientales identificados de los puntos visitados de *G. keule*.

