

Informe Final
Obras Control de Cárcavas
Localidad de Rastrojo, Comuna de San Javier
Provincia de Linares, Región del Maule

Elaborado en el contexto del proyecto PYT-2017-0733 “Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post-incendio, Región del Maule”



Informe Final Componente

Obras Control de Cárcavas Localidad de Rastrojo

Autores:

Pedro J. Garrido V. Ingeniero Agrónomo, Dipl. Gestión Ambiental Magister Gestión Ambiental Territorial Consultor en Flora y Fauna Silvestre, Chile

Ursula Doll, Ingeniera Agrónoma Doctora en Ciencias Forestales

Este informe fue generado en el marco del proyecto *PYT 2017- 0733: Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020*, implementado en la Localidad de Rastrojos, por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), bajo la coordinación de la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal y la Oficina Provincial de Linares de CONAF.

Responsables en CONAF:

Andrés Meza A. (Coordinador Principal); **Eduardo Jara V.** (Coordinador Alterno); **Bárbara Arias R.** (Apoyo Técnico)

2020



	Páginas
1. Introducción	4
2. Antecedentes generales	5
3. Objetivo general	5
4. Objetivos específicos	5
5. Metodología	5
5.1. Área de estudio: localización	5
5.2. Clima	5
5.3. Geología y geomorfología	6
5.4. Vegetación y flora	8
5.5. Métodos para identificación y descripción de cárcavas	9
5.5.1. Tamaño y superficie de cárcavas	9
5.5.2. Riesgos para la población	10
5.5.3. Conectividad	10
5.5.4. Potencial de recuperación ecológica	10
6. Resultados	11
6.1. Cárcava N°1	11
6.1.1. Descripción	11
6.1.2. Riesgo para población y obras	11
6.1.3. Conectividad	12
6.1.4. Potencial de recuperación ecológica	12
6.1.5. Obras implementadas en Cárcava N°1	13
6.2. Cárcava N°2	20
6.2.1. Descripción	20
6.2.2. Riesgo para la población y obras	21
6.2.3. Conectividad	22
6.2.4. Potencial de recuperación ecológica	22
6.2.5. Obras implementadas en Cárcava N°2	23
7. Conclusiones	26
8. Bibliografía	27

1. Introducción

Al igual que en gran parte del mundo, en Chile los suelos han venido soportado una enorme presión debido a la intensificación de su uso para la agricultura, pastoreo, silvicultura y en las últimas décadas una expansiva urbanización (Pfeiffer *et al.*, 2018).

Estos procesos han sido intensos en Chile central, donde se ubican los suelos más productivos y a la vez más sensibles a la sobreexplotación y susceptibles a la erosión, usos inadecuados o prácticas degradativas (Peralta, 1971; Pinochet de la Barra, 1991), especialmente en áreas sensibles como la cordillera de la costa, caracterizada por un relieve accidentado y un sustrato de antigua data.

Emplazada en la vertiente oriental de la cordillera de la costa, en una extensa área conocida como “secano interior”, se ubica la localidad de “Rastrojo”, que forma parte de la zona rural de la comuna de San Javier. Aquí – y al igual como sucede en amplias zonas del secano - los impactos ambientales producidos por la sobre-explotación del suelo, se manifiestan a través de innumerables “barrancas” o cárcavas que permanecen como testimonio de un proceso de erosión en su grado extremo, siendo éste el fenómeno que más impacta a toda la región del secano interior (Ovalle, 1996).

Las cárcavas, son un canal natural o incisión causado por un flujo de agua concentrado, a través del cual fluye la escorrentía después de un evento de lluvia (SCSA, 1982). Ocasionan diversos daños asociados a la destrucción de caminos, arrastre de suelo fértil, reducción de áreas de cultivo y daño en estructuras de almacenamiento de agua, galpones, además de viviendas o asentamientos humanos.

En el contexto del proyecto PYT 2017-0733 “Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post-Incendio Región del Maule”, CONAF ha abordado esta problemática a escala intra-predial y a través de una experiencia demostrativa, ha implementado obras de control en 2 cárcavas de la localidad de “Rastrojos”, que se encuentran adyacentes a viviendas o a caminos de acceso.

El presente Anexo, forma parte y a la vez complementa el Informe Diagnóstico de Cárcavas de la Localidad de Rastrojos, que caracteriza la situación de degradación de los suelos en dicha zona y propone alternativas para abordar su recuperación a modo de experiencia piloto de manejo intra-predial.

2. Antecedentes generales

Nombre del Área de Estudio: Quebradas Sector de Rastrojo
Sector : “Rastrojo”
Superficie : 1.799,4 hectáreas
Comuna : San Javier
Provincia : Linares
Región : Del Maule
Organización responsable : CONAF, Oficina Provincial Linares.
CONAF, Dirección Nacional, Santiago.

3. Objetivo general

Efectuar un Diagnóstico e implementar acciones para control de 2 Cárcavas en quebradas que forman parte del área de estudio.

4. Objetivos específicos

- 4.1. Describir y priorizar 2 cárcavas que serán objeto de intervención.
- 4.2. Implementar obras de manejo/control de cárcavas en 2 unidades piloto.
- 4.3. Proponer e implementar indicadores para evaluar resultados de intervenciones

5. Metodología

5.1. Área de Estudio: antecedentes y localización

El área de estudio corresponde a la localidad de “Rastrojos”, zona rural de la comuna de San Javier, provincia de Linares, Región del Maule (Figura 1). De acuerdo a Véliz (2019) tiene una superficie de 1.799,4 hectáreas y se encuentra inmersa dentro de una zona rural que posee campos agrícolas de pequeños propietarios, así como áreas de matorral, bosque nativo y plantaciones forestales. Esta zona y su población rural se emplaza en el denominado “secano interior”, unidad morfoestructural que se presenta como un cordón montañoso accidentado que se orienta en sentido norte-sur y que corresponde a la vertiente oriental de la cordillera de la costa, donde domina una topografía de cerros y lomas, en algunos casos con pendientes moderadas a fuertes y zonas bajas y planas que se asocian principalmente a cursos de agua o sitios de inundación invernal (Plan Regulador Comunal, San Javier, 2018). En el pasado reciente, el sistema tradicional de agricultura campesina se basaba en una rotación de praderas naturales y trigo, debido al cual, el suelo se ha deteriorado enormemente (Del Pozo & Del Canto, 1999). A ello se agrega una situación social con altos índices de pobreza, especialmente debido a que los servicios básicos no entregan una cobertura adecuada. Por otra parte, tanto la comunidad como sus alrededores fueron afectados por uno de los incendios más extensos de los que se tenga antecedentes, el mega incendio forestal denominado “Las Máquinas”.

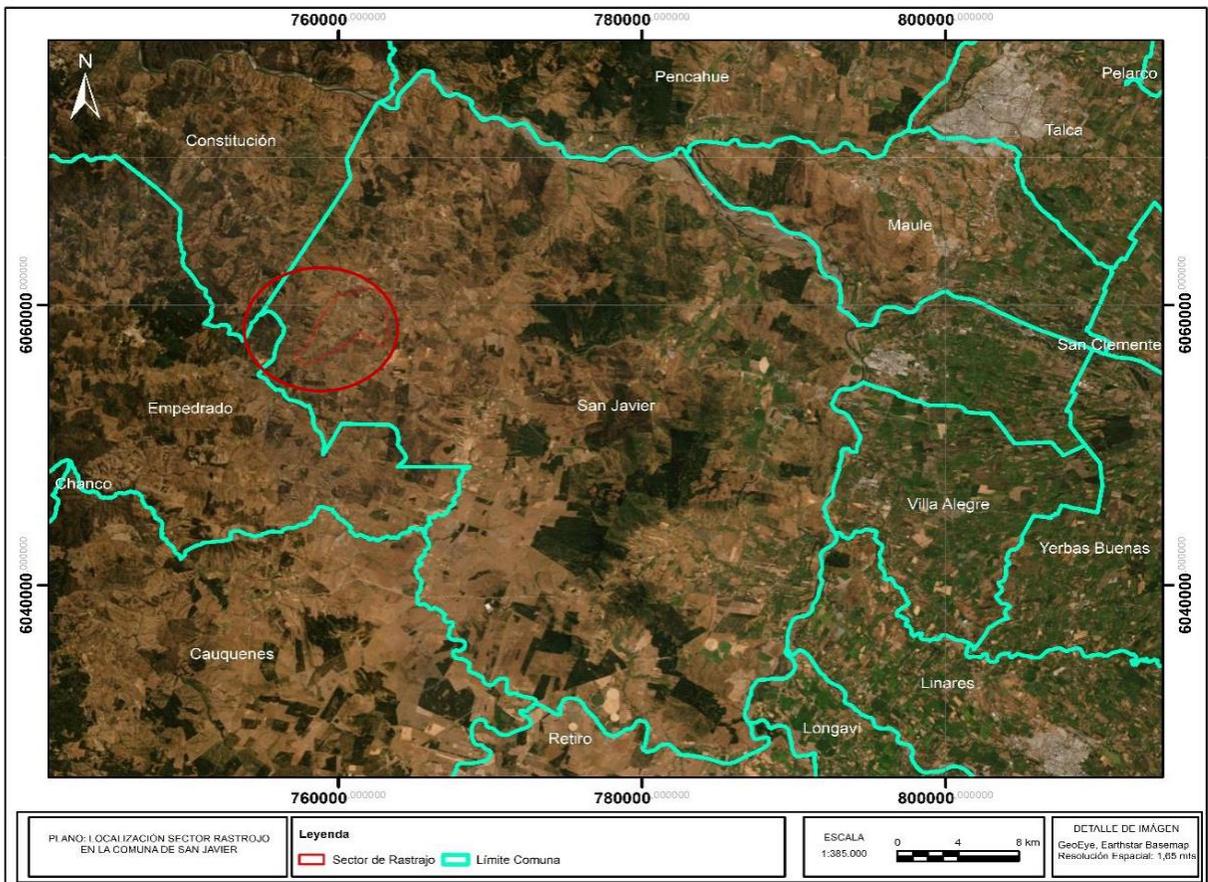
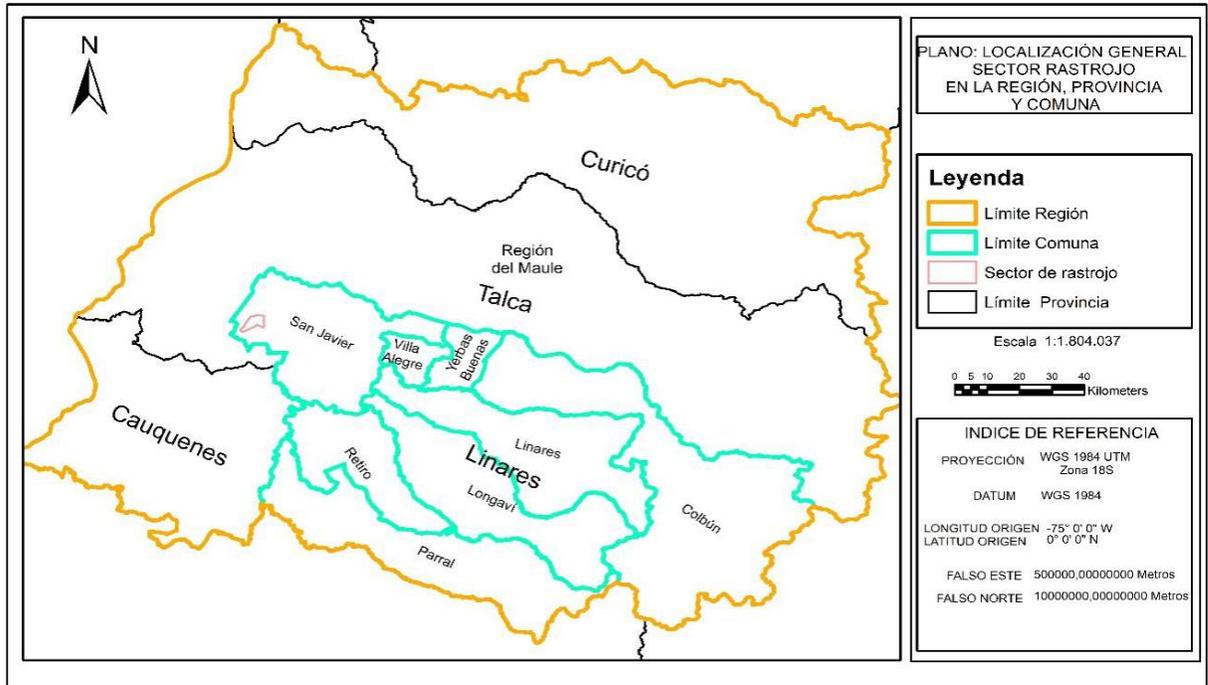


Fig. 1. Localización del área de estudio, predio se indica círculo de color rojo.

5.2. Clima

Según di Castri y Hajeck (1976), Rastrojo se inserta plenamente en la región con tendencia climática de tipo Mediterráneo y dentro de ella, la mediterránea subhúmeda que abarca desde la provincia de O'Higgins hasta la provincia de Cauquenes. De acuerdo a la clasificación bioclimática de Luebert y Pliscoff (2005), a gran escala, la localidad de Rastrojo, se inserta en el macrobioclima Mediterráneo, el que es predominante al sur de los 33° de latitud Sur y se caracteriza, en concordancia con el caso anterior, por fuertes diferencias estacionales de temperatura y precipitaciones concentradas en la temporada invernal, así como una sequía estival pronunciada. Se distribuye fundamentalmente en la zona central de Chile. A escala más específica, Rastrojo forma parte del bioclima Mediterráneo pluviestacional, que abarca todos los sectores ubicados al sur de la latitud 33°S hasta el límite del macrobioclima. Agroclimáticamente y debido a su emplazamiento en el secano interior, presenta altas oscilaciones térmicas, con temperaturas máximas de verano que fluctúan entre 29-30° y un período de sequía que se prolonga entre 6 y 7 meses (Del Pozo & Del Canto, 1999). En términos hidrológicos, Rastrojo forma parte de la cuenca del río Purapel, la que abarca una superficie 274,4 km² (AGRIMED, U. Chile).

La relevancia climática de la cordillera de la costa se debe a que constituye un sistema orográfico que regula y dificulta la penetración de influencias oceánicas hacia el interior del país. Junto a ello, destaca su relevancia biogeográfica, ya que, debido a su antigüedad geológica, ha favorecido la migración de formas de flora australes a lo largo de su distribución (di Castri y Hajeck, 1976).

5.3. Geología y geomorfología

El área de estudio se inserta en una gran unidad geológica de basamento rocoso denominada Cordillera de la Costa, cuyo origen antiguo se remonta a la edad Paleozoica (Rodríguez, 1959; 1960). El relieve de la cordillera costera a esta latitud, se describe como una serie discontinua de macizos montañosos con alturas inferiores a los 1.000 msnm, por lo que se encuentra muy deprimida.

La ladera oriental y donde se emplaza el sector de Rastrojo, es comúnmente denominada como "secano interior" (Ovalle, 1994) y se caracteriza por la presencia de cuencas que fueron rellenadas con material de arrastre fluvial andino, como resultado de un levantamiento tectónico que afectó durante el Cuaternario al cordón montañoso costero. Por esta razón, algunos ríos como el Purapel -a cuya cuenca pertenece el área de Rastrojo – desviaron sus cauces naturales tomando dirección este (Tricart y Borgel, 1967).

La zona del secano interior a la altura de los 35° de latitud sur, comprende una parte de 2 grandes unidades geológicas características de Chile Central:

La zona granítica que corresponde al período Paleozoico y donde las rocas están constituidas de ortoclasa, microclina, plagioclasa, cuarzo, biotita y proporciones variables de anfíbola (Ovalle, 1994).

La zona metamórfica, constituida por metareniscas, pizarras, filitas, esquistos, metabasitas gneises y anfibolitas (Ovalle, 1994).

Vinculado a la geología general, la geomorfología del secano en Rastrojos está caracterizada por la vertiente oriental de la cordillera de la costa (secano interior), la que presenta una gran diversidad topográfica, con montañas, colinas, mesetas, valles y pequeñas cadenas de lomajes.

A gran escala, los suelos forman parte de la denominada Zona Edáfica Mediterránea Árida¹, que se extiende desde los 32°LS hasta 37°LS (Luzio, 2010), sin embargo, a nivel local, los suelos se formaron *in situ* y presentan características de secano, por lo que están emplazados sobre un complejo de rocas metamórficas del basamento paleozoico, siendo comunes los colores pardo rojizo oscuros, a causa de la descomposición (erosión climática) de rocas de antiguo origen, afectadas por la alternancia de períodos secos y cálidos durante el interglacial, por lo que son también llamados suelos policíclicos (Pinochet de la Barra, 1991). La situación anterior, determina que estos suelos son muy susceptibles a erosionarse (Veit & Garleff, 1995) y cuando esto ocurre, su meteorización proporciona gravas cuarcíticas que se distribuyen irregularmente en los perfiles (Luzio, 2010).

Se ubican preferentemente en sectores escarpados, de posición alta, aunque también se encuentran en valles ondulados y piedmont². La textura superficial es franca y en profundidad arcillosa (Pinochet de la Barra, 1991).

5.4. Vegetación y flora

La incorporación de antecedentes bibliográficos del área de estudio, tienen por objetivo establecer el marco biogeográfico en el cual se emplaza y para ello se indican los trabajos de Gajardo (1993) en la “Vegetación Natural de Chile” y de Luebert y Pliscoff (2006), en su “Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile”.

Regiones, Subregiones y Formaciones Vegetales

El área de estudio se emplaza según Gajardo³, en la **Región del Bosque Caducifolio**, la cual se extiende desde los 33° hasta los 41° de latitud sur en un territorio bajo clima templado con sequía estival breve. La característica esencial que distingue a esta región es la presencia en la estrata arbórea de las especies del género *Nothofagus*.

El sector de Rastrojo, por la posición latitudinal y fisiográfica, corresponde a la **Sub-región del Bosque Caducifolio Montano**, que se ubica como límite superior de las situaciones más favorables del bosque esclerófilo y siempre desarrollado en altitud, tanto en la Cordillera de los Andes como en este caso la Cordillera de la Costa.

¹ Aunque el término Zona Edáfica sugiere una uniformidad u homogeneidad de los suelos que se encuentran enmarcados dentro de ella, esto no ocurre para el país a causa de la influencia en el paisaje, de agentes como el agua, el hielo, viento, volcanismo y más recientemente el hombre. Sin embargo, dos elementos pueden ser considerados relativamente constantes: el contenido de agua y la temperatura media del suelo, por lo que es posible asociar los regímenes de humedad y temperatura para los suelos de Chile, a las grandes regiones climáticas del país, tomando ambas variables a escala generalizada (Luzio, 2010).

² También denominados Piedemonte, se refiere a aquellas superficies que se ubican en contacto con las laderas de cerros altos o montañas, pero que exhiben una pendiente mucho más moderada y descienden gradualmente (Lugo, 2011).

³ Gajardo, R. 1993. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. 165 p.

La Formación es el **Bosque Caducifolio Maulino**, la cual comprende los bosques de hualo (*Nothofagus glauca*) presentes en la Cordillera de la Costa y que ha sido fuertemente reemplazada por plantaciones de *Pinus radiata*.

Pisos Vegetacionales⁴

De acuerdo a la clasificación de los Pisos Vegetacionales de Luebert y Pliscof (2006), el área de estudio se emplaza en lo que correspondería a dos **Pisos Vegetacionales: el Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero de *Nothofagus glauca* y *Persea lingue***, constituido por un bosque caducifolio dominado por *Nothofagus glauca* (hualo), *Nothofagus obliqua* (roble), *Gevuina avellana* (avellano) y *Persea lingue* (lingue), con *Pernettya insana* (murtillón), *Ugni molinae* (murtilla) y *Escallonia pulverulenta* (corontillo) como diferenciales en la estrata arbustiva. La estructura vegetal presenta epífitas como *Bomarea salcilla* (copihuello), *Lardizabala biternata* (coile) y *Lapageria rosea* (copihue), y el **Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Lithrea caustica***, en donde ambas especies dominan a nivel de dosel superior, pero con coberturas variables. Se plantea como una fase regresiva del bosque esclerófilo original a causa de la influencia permanente del hombre, mientras otros consideran que se trata de vegetación original. En cualquier caso, su degradación conduce a una pradera compuesta por herbáceas perennes y anuales introducidas y algunos arbustos.

5.5. Metodología para identificación y selección de 2 cárcavas

La identificación de cárcavas, se efectuó a través de 35 vuelos fotogramétricos con Drone DJI MAVIC Pro, a una altura media de 220 metros y con un traslape longitudinal y lateral de 70 y 65% respectivamente, durante días despejados y favorables condiciones climáticas. Posteriormente, el material aerofotográfico fue ordenado y procesado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y uso de la plataforma Dronedeploy, lo que permitió la creación de un ortofotomosaico de resolución espacial de 7,4 cm por píxel y un modelo de elevación digital de 29,6 cm por píxel. A partir de estos productos, con el uso de un software SIG, se realizó la identificación de las cárcavas, el dibujo del polígono del área afectada y del canal principal. Utilizando herramientas de medición se determinó la superficie afectada (ha), el perímetro (km), y la elevación del perfil altitudinal del canal principal en metros. Finalmente, se generó 1 ficha descriptiva por cada una de las 2 cárcavas seleccionadas. El tamaño de cada cárcava fue clasificado en las siguientes categorías:

5.5.1. Tamaño y superficie

Tabla 1. Clasificación de la cárcava en función del tamaño.

Cárcava	Tamaño (profundidad en metros)	Área drenada (hectáreas)
Pequeña	< de 1 metro	< de 2 hectáreas
Mediana	1 a 5 metros	2 a 5 hectáreas
Grande	> de 5 metros	> de 5 hectáreas

Fuente: SARF, 1982.

⁴ Espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniformes, situados en condiciones mesoclimáticamente homogéneas a lo largo de un gradiente de elevación, a una escala espacio-temporal específica.

Esta descripción fue complementada con datos sobre presencia de flora y vegetación, provenientes de campañas de terreno que se efectuaron con apoyo de tecnologías disponibles (navegadores GPS, planos, brújulas, etc.) para verificar situaciones específicas.

5.5.2. Riesgo para la población y obras civiles

Se identifica los principales riesgos que la permanencia de la cárcava, puede significar para la seguridad de la población, así como para la mantención de obras civiles. En ambos casos, se considera la cercanía de viviendas, infraestructura humana como galpones, bodegas, así como caminos principales y secundarios.

5.5.3. Conectividad

Considerada desde la perspectiva del nivel de aislamiento con otras cárcavas, así como bajo la posibilidad de implementar acciones de estabilización, principalmente biológica a través del enriquecimiento con especies herbáceas, arbustivas y/o arbóreas y favorecer la conectividad con corredores de vegetación entre ellas.

5.5.4. Potencial de recuperación ecológica

Se complementa con el punto anterior, en el sentido de determinar, de acuerdo al tamaño, superficie y presencia de vegetación, la factibilidad de abordar su recuperación desde una perspectiva biológica, es decir, considerando el establecimiento y/o facilitación de la recuperación de una cubierta vegetal herbácea, arbustiva o arbórea, mediante el control de los factores de presión o amenazas al proceso. La cobertura vegetal del terreno de la cárcava, constituye una condición hidrológica de la misma, debido a que incide directamente sobre la intercepción de la precipitación y la rugosidad que se opone al escurrimiento del flujo superficial de agua. De esta forma y para definir posteriores manejos, es posible establecer tres clases de cobertura de la vegetación presente en una cárcava y sus zonas adyacentes:

Tabla 2. Clases de cobertura vegetal

Clase	% de cobertura
Buena	>75%
Regular	Entre 50 y 75%
Mala	< de 50%

Fuente: CONAFOR (2018).

En forma muy preliminar, es posible indicar que, en Rastrojo, el nivel de cobertura predominante en la vegetación en cárcavas es Mala, ya que la mayoría de ellas, presenta un porcentaje de cobertura del suelo menor al 50%.



Fig. 2. A. Cobertura vegetal Mala

B. Cobertura vegetal Regular.

C. Cobertura vegetal Buena.

6. Resultados

6.1. Cárcava N°1

6.1.1. Descripción

La primera cárcava seleccionada corresponde a la N°37 (de acuerdo a Informe Cárcavas Rastrojo), que se ubica en el límite sur-este de Rastrojo. Tiene una longitud aproximada de 105 metros, un perímetro de 0,31 hectáreas y una pendiente del 13%. Su altura máxima se encuentra a los 184 msnm y la mínima a los 160 msnm, por lo que su profundidad mayor es de 24 metros.



Foto 1. Vista aérea de cárcava N°37 con cobertura pinos. **Foto 2.** Vista parcial de ladera oriente de cárcava.

6.1.2. Riesgo para la población y obras

Como se indicó en el Informe Diagnóstico de Cárcavas de Rastrojos, el 43% de ellas se ubican a menos de 90 metros de una construcción humana. Desde la perspectiva del riesgo, la cabecera de la cárcava se inicia a menos de 100 metros del costado poniente de la vivienda de la familia Romero-Rojas y a sólo 5 metros de un galpón de almacenamiento (fotografías 3 y 4), por lo que, de seguir creciendo, implicaría un grave riesgo para la estabilidad de ambas construcciones.

Al igual que la mayoría de las cárcavas del sector, la cobertura vegetal es baja, menor al 50% y está representada hacia su cabecera principalmente por rebrotes de especies nativas esclerófilas y hacia su parte baja por regeneración vía semilla de *Pinus radiata* en abundancia.



Foto 3. Vista aérea de cárcava N°37, al fondo, Galpón.



Foto 4. Vista lateral de cárcava y Galpón en su inicio.

6.1.3. Conectividad

A pesar que esta cárcava tiene una longitud poco mayor a los 100 metros, se conecta en forma directa con una quebrada de pequeño tamaño que se ubica hacia la parte final de la cárcava, hacia el costado poniente. Esta segunda cárcava, exhibe una buena cobertura vegetal arbustiva y arbórea, en torno al 65% y está compuesta principalmente por especies nativas esclerófilas como litre (*Lithrea caustica*), boldo (*Peumus boldus*), mardón (*Escallonia pulverulenta*), bollén (*kageneckya oblonga*) y algunas suculentas como *Puya chilensis*.



Foto 5. Vista aérea de cárcava N°37.



Foto 6. Vista aérea de quebrada hacia el poniente

6.1.4. Potencial de recuperación

Como se indicó previamente, la presencia de vegetación, especialmente nativa, determina en gran medida la capacidad de recuperación natural o biológica de esta cárcava. De acuerdo a análisis de fotografías aéreas y recorridos por el lecho de la cárcava en septiembre 2020, se determinó una cobertura vegetal del 55%, considerada “Regular” desde perspectiva de recuperación y dada por la presencia en la zona media y baja de la cárcava, de juveniles de *Pinus radiata* de entre 60 cm y 1,9 metros de altura media. En la zona alta, predominan especies esclerófilas que rebrotaron vigorosamente post-incendio como corontillo (*Escallonia pulverulenta*), boldo (*Peumus boldus*), litre (*Lithrea caustica*), corcolén (*Azara integrifolia*) y bollén (*Kageneckia oblonga*), entre otras. A ellas se agrega abundante regeneración post-incendio de *Pinus radiata*. Imágenes de la cárcava se aprecian en la siguiente figura.



Foto 7. Vista cobertura desde zona de inicio de cárcava.



Foto 8. Vista cobertura desde zona de término cárcava

6.1.5. Obras implementadas Cárcava 37

En esta cárcava, se implementó las siguientes obras de control:

6.1.5.1. Diques de Postes de Madera

Objetivos

- Resistir la socavación del lecho de la cárcava
- Estabilizar las pendientes del lecho
- Preparar condiciones para futuras siembras y plantaciones en la cárcava

Características del diseño

Se efectuó un análisis de las características de la cárcava, en término del porcentaje de pendiente, que alcanzó al 13%, longitud, de aprox. 107 metros, perímetro y altitud, que alcanzó 21 metros. De acuerdo a ello, se construyeron 12 diques en polines de pino impregnados de 3-4 pulgadas de ancho cada uno, con una altura de 90 cm. y postes verticales distanciados a 1 metro y enterrados a una profundidad de 0,4 metros. Los postes horizontales fueron clavados y amarrados con alambre galvanizado a los postes verticales, además de estar empotrados en sus extremos unos 20 cm. a ambos costados de ladera.



Foto 9. Vista frontal de dique en madera impregnada.



Foto 10. Amarras de alambre galvanizado.



Foto 11. Dique visto frontalmente.



Foto 12. Vista posterior (parte trasera) de dique.

6.1.5.2. Disipadores

Objetivos

- Amortiguar el impacto del flujo hídrico
- Disminuir la velocidad de las aguas

Características del diseño

Esta obra se complementó con otros tratamientos para regulación de flujos de agua, como los Diques de Postes de Madera. El objetivo fue disponer de una estructura para evitar el socavamiento en cauces, al recibir los flujos hídricos provenientes de los Diques.

Fueron construidos en madera de pino impregnada de 3-4 pulgadas y clavados y amarrados con alambre galvanizado, a la base anterior de los Diques de Madera. En su interior, se colocaron bolones y ripio para disminuir el poder erosivo de la caída de agua proveniente del dique durante el invierno y otorgar mayor estabilidad a la estructura.

Cada disipador fue enterrado entre 5-8 cm en el suelo, a los pies de cada dique, para dar estabilidad a la estructura, quedando la parte inferior del disipador, bajo o a nivel del suelo y la superior sobre éste.



Foto 13. Primer plano de disipador y dique en madera.



Foto 14. Disipador con ripio y bolones.



Foto 15. Disipador visto desde arriba con bolones y ripio.



Foto 16. Vista frontal de disipadores y diques.

6.1.5.3. Cercado perimetral

Objetivos

- Aislar el perímetro de la cárcava
- Impedir el ingreso de ganado mayor y menor
- Disminuir riesgo de erosión por pisoteo de ganado

Características del diseño

Se implementó un cercado en todo el perímetro de la cárcava que alcanzó los 290 metros de extensión, con una Malla Ursus de alambre galvanizado de 1,2 metros de altura y separación de 35 cm. entre cuadros. Se ubicó a una distancia media de entre 3 a 6 metros desde el borde de la cárcava hacia afuera. La malla fue clavada a polines impregnados de 3 pulgadas distanciados cada 3 metros. En su parte superior, lleva una hebra de alambre púa en todo su perímetro, para impedir el acceso de animales como cabras o corderos. Imágenes del cercado se aprecian en las fotografías siguientes.



Foto 17. Vista de malla Ursus en perímetro de cárcava.



Foto 18. Cercado en un sector lateral de la cárcava.



Foto 19. Malla Ursus en perímetro de cárcava.



Foto 20. Cercado en sector bajo, refuerzo de troncos.

6.1.5.4. Instalación de Sacos con tierra

Objetivos

- Amortiguar el flujo de agua que llega a la base de los diques
- Disminuir arrastre de tierra por lluvia en algunos puntos de ladera

Características

Se instalaron sacos rellenos con tierra en la zona anterior de cada uno de los diques de contención, a objeto de disminuir la velocidad del flujo de agua que llega a la zona baja del dique para evitar el socavamiento de sus bases. Los sacos fueron colocados uno al lado del otro y a todo el ancho de cada uno de los diques. En algunos taludes laterales, también se instalaron sacos con tierra a objeto de disminuir el socavamiento del terreno descubierto de vegetación, disminuyendo el impacto de gotas de lluvia en sitios muy frágiles.



Foto 21. Sacos con tierra ubicados en base de diques.



Foto 22. Dique con sacos de tierra en zona anterior.



Foto 23. Primer plano de sacos con tierra en base diques.



Foto 24. Dique con disipador y sacos en su base.

6.1.5.5. Trozado y disposición de madera muerta

Objetivos

- Disminuir velocidad escurrimiento de agua en ladera
- Aumentar protección de suelo descubierto contra lluvia en ladera

Características

La cárcava fue afectada por el mega incendio de 2017, con quema de árboles adultos y juveniles de *Pinus radiata*, algunos de los cuales cayeron en el interior de la cárcava mientras otros permanecieron en pie en laderas y taludes. La mayoría de estos árboles fueron volteados, trozados con motosierra y los troncos y ramas dispuestos en los taludes o zonas bajas de ladera, para sujetar el suelo y oponer resistencia al flujo del agua en sitios de pendiente pronunciada.

Se procuró mantener los árboles trozados al interior de la cárcava, para evitar daño al suelo e incrementar la erosión por el arrastre de los árboles. Parte del trabajo y de sus resultados, se aprecian en las siguientes fotografías.



Foto 25. Primer plano de trocos trozados y apilados.



Foto 26. Apilamiento y disposición de madera en talud.



Foto 27. Pila de ramas al costado de dique.



Foto 28. Pila de troncos a continuación de dique.

A continuación, se presenta una fotografía de Drone, en la que se esquematizaron a través de dibujos en color negro, las obras implementadas al interior y exterior de la Cárcava.



Foto 29. Demarcación (en color negro), de obras implementadas al interior de Cárcava. Se aprecia cercado perimetral (líneas cortas verticales) y diques de madera con disipadores (líneas negras horizontales). La ubicación es aproximada en base a datos GPS. La fotografía, es anterior al volteo, trozado y disposición de madera (troncos y ramas) de pinos muertos por incendio de 2017, los cuales se aprecian en la imagen de color gris.

De forma complementaria, se presenta a continuación, la Ficha Técnica de la Cárcava N°37, con los siguientes parámetros:

- a. Ubicación de la cárcava en el contexto de Rastrojos.
- b. Imagen 3D de la cárcava.
- c. Polígono de ortofotomosaico.
- d. Perfil altitudinal.
- e. Modelo de elevación digital

Cárcava 37.



a) Ubicación de la cárcava en el área de estudio.



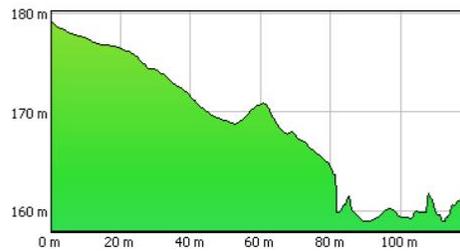
b) Imagen 3D de la cárcava



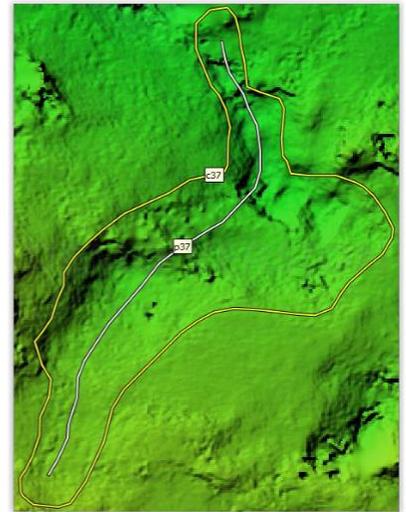
c) Polígono en ortofotomosaico

PARÁMETROS DE LA CÁRCAVA 37

- Perímetro: 335 m.
- Área: 3.113 m²
- Mayor altitud del perímetro: 184 m.s.n.m
- Menor altitud del perímetro: 160 m.s.n.m



d) Perfil altitudinal del canal principal



e) Modelo de elevación digital

6.2. Cárcava N°2

6.2.1. Descripción

La primera Cárcava a considerar corresponde de acuerdo al Informe Diagnóstico de Cárcavas de rastrojo, a la N°36. Se ubica hacia el límite sur-este del área de Rastrojo y al costado oriente de la vivienda de la familia Romero-Rojas. Corresponde a una cárcava pequeña, que cubre una superficie de 0,4 hectáreas, pero que presenta una importante pendiente a causa de la diferencia de altitud entre su zona baja que se ubica a los 167 msnm y la zona alta que se ubica a los 194 msnm. Aunque en su ladera norte, presenta cobertura arbórea de *Eucaliptus globulus*, así como de especies nativas como *Nothofagus glauca* (hualo); en su ladera sur, presenta restos de troncos quemados y muertos en pie y en el suelo, de *Pinus radiata*, así como regeneración por semillas de esta misma especie y regeneración vegetativa (rebrotos) de especies esclerófilas.



Fig. 3. Vista parcial de Cárcava 1, priorizada para intervenir con objeto de estabilización.

6.2.2. Riesgo para la población y obras

Tal como para el caso anterior y desde la perspectiva del riesgo, la cabecera de la cárcava se inicia a menos de 30 metros del costado oriente de la vivienda de la familia Romero-Rojas y a sólo 2 metros del camino lateral que rodea la vivienda (figura 2). Esta situación implica un grave riesgo para la estabilidad del camino y de continuar avanzando, también de la vivienda en un mediano plazo.



Figura 2. Vista parcial de Cárcava 1, priorizada para intervenir con objeto de estabilización

6.2.3. Conectividad

Esta cárcava tiene una longitud aproximada de 225 metros y se encuentra aislada de otras cárcavas cercanas, ya que se ubica en una zona de ladera pronunciada de exposición sur que drena en una dirección. Al costado sur de esta cárcava, se ubica otra ladera con menor cobertura vegetal que contiene otra cárcava, pero que se encuentra separada de ésta última. Como se aprecia en las fotografías aéreas siguientes, existe una zona abierta, desprovista completamente de vegetación y ubicada en posición baja y plana (costado inferior derecho de fotografía).



Foto 30. Vista aérea de cárcava N°36, con continuidad en dirección al sur-oriente, se aprecia zona abierta y plana.

6.2.4. Potencial de recuperación

La presencia de vegetación determina en gran medida la capacidad de recuperación natural o biológica de una cárcava. De acuerdo a análisis de fotografías aéreas y recorridos recientes por el lecho y bordes de la cárcava, se determinó una cobertura vegetal mayor al 70%, considerada "Buena" desde perspectiva de recuperación y está dada por la presencia de renovales de *Nothofagus glauca* (hualo), de *Eucaliptus globulus* (eucalipto) y de juveniles de *Pinus radiata* de entre 50 cm y 2,5 metros de altura media.



Foto 31. Alta cobertura arbórea en interior de cárcava.



Foto 32. Regeneración de hualo y pino en cárcava.

En la zona baja de la cárcava, predominan especies arbóreas esclerófilas que rebrotaron post-incendio como corontillo (*Escallonia pulverulenta*), boldo (*Peumus boldus*), litre (*Lithrea caustica*), peumo (*Cryptocarya alba*), radial (*Lomatia hirsuta*) y bollén (*Kageneckia oblonga*), entre otras. A ellas se agrega un importante contingente de arbustos como corcolén (*Azara integrifolia*), *Podanthus ovatifolius* (mitique), *Aristotelia chilensis* (maqui), *Sophora macrocarpa* (mayo) y *Chusquea quila* (quila). Al igual que para otras cárcavas, se observa abundante regeneración post-incendio de *Pinus radiata*. Imágenes de la cárcava y su nivel de cobertura vegetal, se aprecian en la siguiente figura.



Foto 33. Vista aérea de cárcava con presencia de alta cobertura vegetal arbórea y arbustiva.

6.2.5. Obras implementadas

En esta cárcava, se implementó únicamente un cercado perimetral para exclusión de ganado mayor y menor, estando pendiente la habilitación de diques en madera, para la zona alta de la cárcava, adyacente al camino, debido a la necesidad de extraer basura acumulada y limpiar el sitio, lo que será efectuado conjuntamente con el propietario los próximos 15 días, de acuerdo a su disponibilidad. Cuando se efectúe la extracción de basura en la cabecera, se efectuará la construcción de los diques de madera, con fines de estabilización de la cabecera de la cárcava, adyacente al camino de acceso. A continuación, se entregan antecedentes del cercado perimetral en la cárcava.

6.2.5.1. Cercado perimetral

Objetivos

- Aislar el perímetro de la cárcava
- Impedir el ingreso de ganado mayor y menor
- Disminuir riesgo de erosión por pisoteo de ganado

Características del diseño

Al igual que para la cárcava anterior, se implementó un cercado en el 85% del perímetro de la cárcava que alcanzó los 390 metros de extensión, con una Malla Ursus de alambre galvanizado de 1,2 metros de altura y separación de 35 cm. entre cuadros. La malla fue ubicada de entre 4 a 6 metros desde el borde de la cárcava hacia afuera y clavada a polines impregnados de 3 pulgadas distanciados cada 3 metros. En su parte superior, lleva una hebra de alambre púa en todo su perímetro, para impedir el acceso de animales como cabras o corderos.

Debido a la pendiente pronunciada que en algunos sectores es mayor a 85%, en la zona media del costado sur de la cárcava no se instaló cercado en un tramo de 95 metros. Imágenes del cercado se aprecian en las fotografías siguientes.



Foto 33. Vista de zona inicio cercado, parte alta cárcava.



Foto 34. Primer plano de cercado con malla Ursus.



Foto 35. Cercado en zona media de cárcava, costado sur.



Foto 36. Vista de cercado hacia zona media de cárcava.

Al igual que el caso anterior, a continuación, se presenta una Ficha Técnica de la Cárcava N°36, con los siguientes parámetros:

- a. Ubicación de la cárcava en el contexto de Rastrojos.
- b. Imagen 3D de la cárcava.
- c. Polígono de ortofotomosaico.
- d. Perfil altitudinal.
- e. Modelo de elevación digital.

Cárcava 36.



a) Ubicación de la cárcava en el área de estudio.



b) Imagen 3D de la cárcava



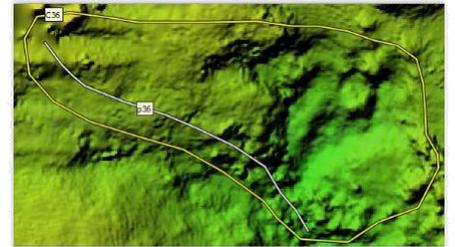
c) Polígono en ortofotomosaico

PARÁMETROS DE LA CÁRCAVA 36

- Perímetro: 259 m.
- Área: 3.595 m²
- Mayor altitud perímetro: 194 m.s.n.m
- Menor altitud perímetro: 167 m.s.n.m



d) Perfil altitudinal del canal principal



e) Modelo de elevación digital

7. Conclusiones

7.1. De acuerdo al Informe Diagnóstico de Cárcavas de la localidad de Rastrojos, se eligió 2 cárcavas para implementación de manejos tendientes a controlar sus procesos de erosión, las que correspondieron a la N°37 (Cárcava 1) y la N°36 de dicho informe (Cárcava 2).

7.2. Ambas cárcavas fueron escogidas en función del alto riesgo que significan para la integridad de viviendas e infraestructura humana, como casas, caminos de acceso, galpones, etc. y que se ubican adyacentes a ellas (< 10 metros distancia) y pertenecen a una familia del sector Rastrojo Alto.

7.3. La Cárcava N°37 (Cárcava 1), que puede ser considerada de pequeño tamaño, mantiene una cobertura vegetal del 55%, lo que es considerado como “regular”, desde la perspectiva de condiciones para la recuperación biológica. En ella domina una regeneración post-incendio de *Pinus radiata* y de especies arbóreas y arbustivas esclerófilas.

7.4. En esta Cárcava la pendiente es moderada, del orden de 13% y en su interior se efectuó cercado perimetral, volteo, trozado y disposición de pinos muertos en los taludes, así como diques en madera impregnada con disipadores de energía y finalmente instalación de sacos con tierra en la base de los diques y en algunos taludes.

7.5. La Cárcava N°36 (Cárcava 2), puede ser considerada de tamaño mediano y mantiene una cobertura vegetal mayor 70%, que es considerada “Buena” y está dada principalmente por regeneración vegetativa post-incendio de especies caducifolias (*Nothofagus glauca*) y esclerófilas, así como regeneración sexual de *Pinus radiata*.

7.6. En esta Cárcava la pendiente es pronunciada, del orden de 65% y en su perímetro se estableció un cercado perimetral. Debido a esta pendiente y por razones de seguridad, no fue posible efectuar volteo de algunos árboles de pino quemados en pie, sin embargo, su número era muy bajo, ya que domina ampliamente la cobertura arbórea nativa.

7.7. Para esta cárcava y de acuerdo a lo observado in situ, se contempla implementación de diques en madera impregnada, para estabilización de la cabecera, que nace adyacente a un camino de acceso a una propiedad con viviendas. Se espera concretar esta obra luego de efectuar la extracción de basura (limpieza de cabecera), en un plazo de 15 días.

8. Bibliografía

Carrasco, J. Jorge, Pérez C. Claudio, Gaete C. Nelba. 2004. Control y Manejo de Cárcavas Menores. Serie cartilla Divulgativas, Proyecto CADEPA. Chillán, Chile. Cartilla N°3. 16 pp.

CIREN. 1997. Estudio Agrológico VII Región. Descripciones de Suelos. Publicación CIREN N°117.

CIREN. 2010. Determinación de la Erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región del Maule. Síntesis de Resultados. Publicación N°147. 50 pp.

CONAF. 2017. Análisis de la Afectación y Severidad de los Incendios Forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes en las regiones de Coquimbo y La Araucanía de Chile. Informe Técnico. 56 pp. Santiago, Chile.

CONAFOR. 2018. Comisión Nacional Forestal. Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales. Manual de Obras y Prácticas. 293 pp.

Di Castri, Franceso & E. Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Editorial Universidad Católica de Chile. 163 pp.

Elizalde, R. 1958. La sobrevivencia de Chile. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 577 pp.

Errázuriz, A.M., P.Cereceda, J.I. González, M. González, M. Henríquez y R. Rioseco. Manual de Geografía de Chile. Editorial Andrés Bello. Tercera Edición. 395 pp.

Franke, S., R. Vargas y K. Tokugawa. 2009. Manual de control de Erosión. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal (CONAF) y Japan International Cooperation Agency (JICA). 73 pp.

IREN-CORFO. 1970. Manejo destructivo de la Tierra. Cordillera de la Costa. Provincia de Concepción. Santiago, Chile. 22 pp.

Ilustre Municipalidad de San Javier. 2018. Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) 2018-2021.

Iroume, A., J. Gayoso y M. Hernández. 1994. Caracterización de cárcavas en las regiones VIII y IX de Chile. Bosque 15(2):65-75.

Lugo, J. 2011. Diccionario Geomorfológico. Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. 478 pp.

Luzio, W. 2010. Suelos de Chile. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 364 pp.

Millar, C.E. 1961. Edafología. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Editorial continental. 612 pp.

Ovalle, C. 1994. Características ecológicas y acción del hombre en el secano interior. Potencialidades y limitaciones para la agricultura. En: La Agricultura del Secano Interior. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. 234 pp.

Peralta, M. 1971. Uso, Clasificación y Conservación de Suelos. Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura.

Pfeiffer, M., J. Pérez Q., M. González C. & M.R. Donoso. 2018. Capítulo 5. Suelos. Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile. 602 pp.

Pinochet de la Barra, F. 1991. Los Suelos Forestales de la Región del Maule. Revista "Universum". Universidad de Talca. Pp 59-77.

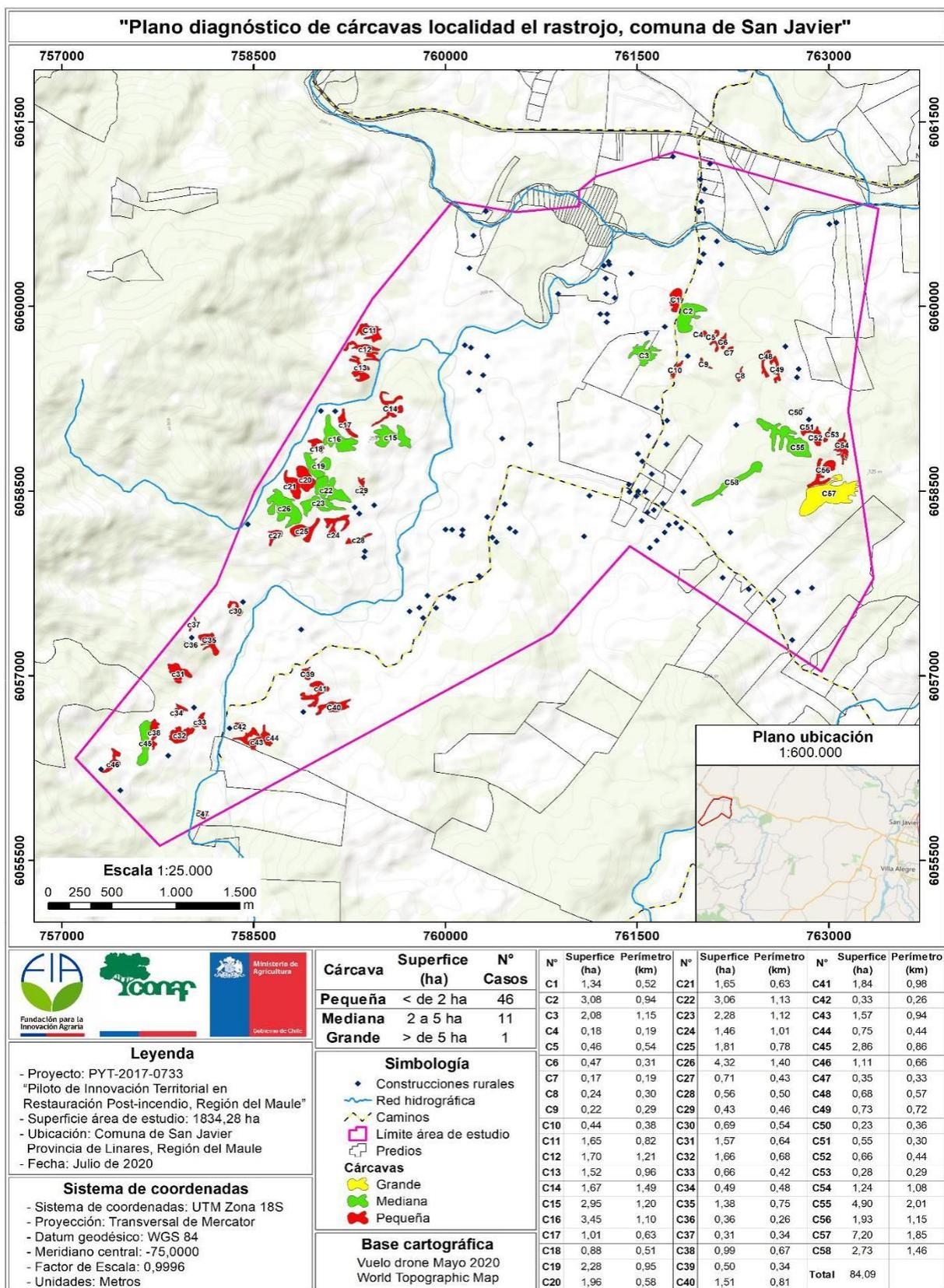
San Martín, J. & C. Donoso. 1995. Estructura florística e impacto antrópico en el bosque maulino de Chile. Pp: 153-168. En: Ecología de los Bosques Nativos de Chile. J. Armesto, C. Villagrán y M.K. Arroyo (Eds.).

San Martín, J. y P. Gómez. 2010. Historia, concepto y uso del bosque maulino. Pp. 73-82. En: Historia Natural del Bosque Maulino Costero. Bustamante, R.O. & P.L. Bachmann (Editores). 119 pp.

Tricart, J. y R. Borgel. 1967. La cuenca hidrográfica del río Maule. Informaciones Geográficas. Pp 37-90.

Veit, H. & K. Garleff. 1995. Evolución del paisaje cuaternario y los suelos de Chile central-sur, 27-47 p. En: Armesto, J., Villagrán, C. & M. Arroyo. 1995. Ecología de los bosques nativos de Chile. Ed. Universitaria. Santiago de Chile. 477 p.

Anexo 1. Mapa general con ubicación de 58 cárcavas descritas.



Informe Final Componente

Obras Control de Cárcavas Localidad de Rastrojo

Autores:

Pedro J. Garrido V. Ingeniero Agrónomo, Dipl. Gestión Ambiental Magister Gestión Ambiental Territorial Consultor en Flora y Fauna Silvestre, Chile

Ursula Doll, Ingeniera Agrónoma Doctora en Ciencias Forestales

Este informe fue generado en el marco del proyecto *PYT 2017- 0733:*

Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020, implementado en la Localidad de Rastrojos, por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), bajo la coordinación de la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal y la Oficina Provincial de Linares de CONAF.

Responsables en CONAF:

Andrés Meza A. (Coordinador Principal); **Eduardo Jara V.** (Coordinador Alterno);
Bárbara Arias R. (Apoyo Técnico)

2020

