



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Departamento de Geografía

ANÁLISIS DE ERODABILIDAD Y VEGETACIÓN PARA LA ZONA  
AUDP SUR EN CERRO EL SOMBRERO Y ESMERALDA EN LA  
COMUNA DE MELIPILLA.

Memoria para optar al título profesional de Geógrafo

MARCO ALISTE MILLARES

Profesor Guía: Gino Sandoval

SANTIAGO - CHILE 2024

## Agradecimientos

*Cosecha buenas ramas y tus hijos heredaran un bosque...*



## **Resumen**

La comuna de Melipilla en la región Metropolitana de Santiago ha experimentado un crecimiento demográfico y expansión urbana, sobre todo para el período intercensal 2002-2017, cuyo crecimiento plantea desafíos significativos en cuanto a la planificación territorial y gestión de riesgos de la comuna. El estado desactualizado de instrumentos de ordenamiento territorial tal como lo es el Plan Regulador Metropolitano de Santiago desde el año 2006 para Melipilla y la ausencia de estudios de riesgos en zonificaciones urbanas llevan consigo al aumento de la exposición ante amenazas, particularmente en áreas urbanizables prioritarias (AUDP) y de bosques y matorrales esclerófilos, más aún, considerando procesos antrópicos como instalación de torres de alta tensión sobre estas áreas, lo que aumenta y acelera los procesos erosión del suelo y la potencial remoción de sedimentos sueltos.

En esta investigación se evaluó la erosión del suelo paralelamente con la vegetación arbórea y arbustiva, en donde se identificaron altos niveles de potencial erosión en las laderas de los cerros El Sombrero y Esmeralda junto a presencia del bosque espinoso. Para esto en primer lugar, se identificó y evaluó la amenaza de remociones en masa en áreas próximas a zonas urbanizadas y urbanizables, mediante análisis multicriterio y fotointerpretación. En segundo lugar, se analizó la cobertura vegetal en donde se caracterizó la distribución y densidad de la cubierta de bosques esclerófilos con técnicas de fotogrametría local. En base a los resultados se genera una propuesta de potenciales zonificaciones sobre la zona PRMS AUDP. Se concluye además que hay una necesidad urgente de actualizar los planes reguladores (PRC/PRMS) por la cercana exposición a remociones en masa, además se recomiendan medidas de planificación para una mejor integración de la ciudad a estas zonas desactualizadas, tales como la conservación de las zonas con presencia de bosque espinoso junto a la restricción de la urbanización sobre zonas donde el agua encausaría los sedimentos derivados de la erosión potencial identificada.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN</b> .....	8
<b>1.1 Introducción</b> .....	8
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	9
<b>1.3 Estado del arte</b> .....	14
1.3.1 <i>Erodabilidad de laderas y quebradas</i> .....	14
1.3.2 <i>Alcances del ordenamiento territorial respecto a desastres socionaturales</i> ....	15
1.3.3 <i>Bosque Esclerófilo</i> .....	16
1.3.4 <i>Dinámicas presentes en la ciudad de Melipilla</i> .....	17
<b>1.4 Área de estudio</b> .....	18
<b>1.5 Objetivos del estudio</b> .....	21
1.5.1 <i>Objetivo General</i> .....	21
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	21
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA</b> .....	22
<b>2.1 Identificar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a Erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda mediante elaboración de índice SvFd</b> .....	22
2.1.1 <i>Caracterización de la Erodabilidad de cerro El Sombrero y Cerro Esmeralda</i> 22	
2.1.2 <i>Creación de capas</i> :.....	23
2.1.3 <i>Creación del índice de susceptibilidad a remociones en masa. Ponderación de capas temáticas: Suitability Modeler</i> .....	31
<b>2.2 Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda</b> .....	33
2.2.1 <i>Identificación de fragmentos del bosque esclerófilo</i> .....	33
2.2.2 <i>Creación de plan de vuelo fotogramétrico</i> .....	35
2.2.3 <i>Procesamiento de imágenes para creación de insumos</i> .....	36
2.2.4 <i>Delimitación de unidades geomorfológicas y exposición solar</i> .....	39
<b>2.3 Delimitar zonas Z-R-1 y Z-R-5 en la zonificación AUDP, actualizado en base a riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda</b> .....	42
2.3.1 <i>Delimitación de nueva Z-R-1 en AUDP respecto zonas de restricción por alto riesgo para asentamientos humanos</i> .....	42
2.3.2 <i>Delimitación de nueva Z-R-5 en AUDP respecto a zonas de Preservación del Medio Ambiental</i> .....	43

<b>CAPITULO 3: RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Identificar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a Erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda mediante elaboración de índice SvFd.....</b>	<b>45</b>
3.1.1 <i>Análisis de índice SvFd por capas.....</i>	<i>45</i>
3.1.2 <i>Análisis de ponderación de capas .....</i>	<i>48</i>
3.1.3 <i>Análisis de hitos relevantes en terreno. ....</i>	<i>51</i>
<b>3.2 Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda. ....</b>	<b>54</b>
3.2.1 <i>Caracterización de distribución la vegetación arbórea por exposición. ....</i>	<i>54</i>
3.2.2 <i>Caracterización de distribución la vegetación arbórea y arbustiva por geoformas. ....</i>	<i>55</i>
3.2.3 <i>Análisis de características por zonas de vegetación. ....</i>	<i>55</i>
<b>3.3 Delimitar zonas Z-R-1 y Z-R-5 en la zonificación AUDP del instrumento PRMS actualizado en base de riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda.....</b>	<b>58</b>
3.3.1 <i>Delimitación de nueva Z-R-1 en AUDP respecto zonas de restricción por alto riesgo de asentamientos humanos. ....</i>	<i>58</i>
3.3.2 <i>Delimitación de nueva Z-R-5 en AUDP respecto a zonas de Preservación del Medio Ambiental Natural. ....</i>	<i>59</i>
3.3.3 <i>Propuesta agrupada de zonas.....</i>	<i>60</i>
<b>CAPITULO 4: DISCUSION Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 Discusión .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>677</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Flujo de sedimentos encausado en urbanización Los Valles (Z-4).....	11
<b>Figura 2.</b>	Proyecto relacionado al episodio aluvional de junio 2020.....	11
<b>Figura 3.</b>	Ubicación de zona Área Urbanizable de Desarrollo Prioritario (AUDP Sur)....	12
<b>Figura 4.</b>	Red hidrográfica de ladera norte, cerro El Sombrero en zona AUDP. ....	13
<b>Figura 5.</b>	Ejemplificación del riesgo construido a nivel institucional. ....	16
<b>Figura 6.</b>	Diagrama de temáticas identificadas dentro del área de estudio.....	18
<b>Figura 7.</b>	Cerro El Sombrero, exposición nororiente.....	19
<b>Figura 8.</b>	Cerro Esmeralda, exposición oriente. ....	19
<b>Figura 9.</b>	Zonas por instrumento de planificación. Cerro Sombrero/Esmeralda. ....	20
<b>Figura 10.</b>	Resumen de imágenes y clasificación creada posterior a visita a terreno. ....	29
<b>Figura 11.</b>	Resumen de secuencia metodológica. ....	33
<b>Figura 12.</b>	Ejemplificación de delimitación de fragmento.....	34
<b>Figura 13.</b>	Tres fragmentos seleccionados, asociados a escurrimiento de quebradas.....	34
<b>Figura 14.</b>	Dos fragmentos identificados, asociados a laderas de poca exposición solar.34	
<b>Figura 15.</b>	Pasos para procesado de imágenes. Ejemplo de proyecto Sur Esmeralda. ....	37
<b>Figura 16.</b>	Ejemplo de vista de puntos clasificados del terreno en Cerro Esmeralda ..... 37	
<b>Figura 17.</b>	Identificación de vegetación arbórea mediante análisis paralelo. ....	38
<b>Figura 18.</b>	Modelos digitales de elevación filtrados por “Vegetación Alta”. ....	39
<b>Figura 19.</b>	Identificación de geformas mediante análisis de relieve sombreado. ....	40
<b>Figura 20.</b>	Ejemplificación de orientación de laderas usadas. ....	40
<b>Figura 21.</b>	Asignación de unidades de exposición solar. ....	41
<b>Figura 22.</b>	Zonas de vegetación para caracterización ..... 41	
<b>Figura 23.</b>	Red Hidrográfica clasificada por relación con zonas con índice SvFd. ....	43
<b>Figura 24.</b>	Predios con presencia de fragmento de bosque emplazados en zona AUDP. 44	
<b>Figura 25.</b>	Resumen de capas temáticas clasificadas por índice..... 47	
<b>Figura 26.</b>	Distribución del índice SvFd en área de estudio y detalle en zona AUDP. ... 49	
<b>Figura 27.</b>	Gráfico histórico de precipitaciones máximas en 24 horas. ....	50
<b>Figura 28.</b>	Coberturas M. Abierto y Semidenso. Especies rodeadas arenas..... 51	
<b>Figura 29.</b>	Afloramiento rocoso en ladera moderadamente escarpada, cerro El Sombrero. 52	
<b>Figura 30.</b>	Fondo de quebrada en zona AUDP. ....	52
<b>Figura 31.</b>	Retroceso de escarpe con afloramiento rocoso. Suelo de poca profundidad. 53	
<b>Figura 32.</b>	Talud en ladera de exposición norte..... 53	
<b>Figura 33.</b>	Flujo de extracción de resultados objetivo 2. ....	54
<b>Figura 34.</b>	Distribución y caracterización de vegetación arbórea y arbustiva. ....	57
<b>Figura 35.</b>	Proyección de potenciales zonas Z-R-1 sobre en zona AUDP..... 58	
<b>Figura 36.</b>	Predios agrícolas que cumplen con el criterio de densidad. ....	60
<b>Figura 37.</b>	Delimitación de potenciales zonas Z-R-1 y Z-R-5 en zona AUDP (PRMS). 61	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Componentes locales relacionados a los objetivos. ....	19
<b>Tabla 2.</b>	Zonificaciones relacionadas al estudio.....	20
<b>Tabla 3.</b>	Capas y criterios para aplicar en tabla de atributos.....	22
<b>Tabla 4.</b>	Insumos base utilizados para creación de capas base. ....	23
<b>Tabla 5.</b>	Unidades Geológicas presentes en el área de estudio. ....	23
<b>Tabla 6.</b>	Criterio usado y distribución presente en área de estudio para asignación de índice SvFd.....	24
<b>Tabla 7.</b>	Clasificación SvFd según exposición solar de ladera. ....	26
<b>Tabla 8.</b>	Proceso de clasificación en base a criterio SvFd.....	27
<b>Tabla 9.</b>	Unidades dentro de la serie de suelo “Piedmont Lo Vásquez” y otros. ....	27
<b>Tabla 10.</b>	Elementos identificados en visitas a terreno. ....	28
<b>Tabla 11.</b>	Ejemplificación de ponderación en Suitability Modeler.....	31
<b>Tabla 12.</b>	Resumen del vuelo fotogramétrico. ....	35
<b>Tabla 13.</b>	Unidades para caracterizar .....	40
<b>Tabla 14.</b>	Áreas evaluadas para buffer. ....	42
<b>Tabla 15.</b>	Tabla resumen de zonificaciones con presencia de alto índice SvFd. ....	48
<b>Tabla 16.</b>	Valores de distribución de la vegetación arbórea y arbustiva. ....	56
<b>Tabla 17.</b>	Representación de vegetación arbórea sobre predios agrícolas. ....	59
<b>Tabla 18.</b>	Relación de problemáticas y elementos de la investigación. ....	64

## CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN

### 1.1 Introducción.

La interfaz urbano-rural durante décadas ha experimentado cambios importantes, desde lo que fue la migración campo ciudad durante el siglo pasado, hasta los nuevos procesos de reurbanización de comuna rurales, el avance de nuevas infraestructuras urbanas ha llevado a las ciudades dormitorio y/o periféricas a una continua densificación con nuevas y complejas dinámicas en su expansión urbana y cambio de usos de suelo (Lukas, et al., 2020).

Tal es el caso de la comuna rural de Melipilla (Berdegué, 2010) en la Región Metropolitana, que experimentó en su último periodo intercensal (2002-2017) un aumento de población del 30,76% (INE, 2017). Este pujante escenario de **crecimiento demográfico** abre las interrogantes sobre si existen o no los lineamientos correctos sobre la manera más optimizada de manejar el **crecimiento urbano sostenido** para la comuna, más aún si se han evidenciado situaciones de riesgo como aluviones sobre zonas urbanizables. A esto se le suma que desde el año 2006 no se han actualizado las zonas del Plano Regulador Metropolitano de Santiago (MINVU, 2007) aplicable a áreas como cerro El Sombrero y Esmeralda, y alrededores, ni se han aplicado **estudios fundados de riesgos** para delimitar nuevamente zonificaciones en sitios urbanizables dentro del límite de extensión urbana de la comuna.

La integración de los riesgos para la población urbana y el ordenamiento territorial se han estudiado desde variados componentes, según Larenas et al. (2015), un desastre natural es la perturbación del entorno natural que surge cuando amenazas naturales coinciden con **fragilidades territoriales**. Por otra parte, se entiende este panorama como “**desastres sicionaturales**”, ya que el incremento del riesgo se origina a partir de condiciones y decisiones **que afectan a las sociedades** frente a las amenazas, dado que la exposición y vulnerabilidad a las amenazas no es natural (Vargas, 2002 en Larenas et al., 2015).

No todas las amenazas naturales afectan de igual manera a todas las poblaciones, por lo tanto, la aproximación y evaluación de esta situación en la urbanización de Melipilla se presenta como una propuesta de **perspectiva preventiva** a la exposición de la amenaza, en línea con el nuevo cambio de paradigma del riesgo presentando en la nueva “*Política nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan estratégico nacional 2020-2030*” (ONEMI, 2020) y la nueva ley 21.364 (conocida como Ley Senapred) que involucra el enfoque preventivo y de mitigación a aspectos de la sociedad civil, como lo pueden ser la urbanización de la ciudades.

Para abordar este contexto, la presente investigación analizó componentes como la erodabilidad o erosión del suelo y la vegetación de ambos cerros de la ciudad de Melipilla, para generar un respaldo técnico que posibilita el debate de como zonificar áreas donde pueda existir una amenaza asociada. Se asociaron como elementos de estudio **la erosión, los bosques esclerófilos y el ordenamiento territorial**, para su comprensión se emplearon técnicas de procesamiento de información temática para la elaboración de un índice de susceptibilidad a remociones en masa para la **identificación de la amenaza** y técnicas de fotogrametría para el análisis de la **distribución de la vegetación en áreas urbanizables**.



## **1.2 Planteamiento del problema.**

El 1 de enero de 2023 ha entrado en vigor la nueva Ley SENAPRED (Ex Onemi) (Ley N° 21.364, 2021), ley que establece un cambio y un paso hacia adelante respecto a la consideración del riesgo a nivel de planificación territorial, destacando el factor prevención en la planificación, como parte del proceso de mitigación y preparación ante el riesgo de desastre en lugares poblados (Gob.cl, 2022).

En este nuevo contexto legal, urge evidenciar que zonificaciones puedan estar presentando una deficiente delimitación espacial que propicien y/o faciliten la exposición al riesgo actual y futuro hacia la población, resaltando que en Chile a lo largo de las últimas décadas ha sido constante el avance de asentamientos humanos en áreas de riesgos o cercanas a estas, como zonas de alta pendiente o en cercanías a quebradas, de manera que, el avance sobre estas zonas generó aumento directo de la vulnerabilidad de la población en función de las amenazas de tipo geológicas o hidrometeorológicas presentes (Arenas et al., 2010). Aquellas amenazas según su probabilidad de ocurrencia y la respectiva exposición de la población a estas pueden generar pérdidas materiales o humanas, contexto reversible mediante un conocimiento detallado de la amenaza y su localización, en función de la planificación de las ciudades de manera más sostenible.

De esta manera la sostenibilidad en la planificación de las ciudades con enfoque preventivo de riesgos es el eje central para disminuir la población afectada por amenazas naturales, ya que, ante la ausencia de un estudio fundado de riesgos, tal como establece la ley general de urbanismo y construcción, el plano regulador comunal presentaría cierto nivel de deficiencia en materia de gestión del riesgo respecto a la ley SENAPRED, considerando que a nivel país tan solo 75 comunas tienen un plano regulador actualizado entre el 2010 y 2023, y que pese a esto no se asegura una comprensión del riesgo estandarizada ya que la OGUC no detalla cómo debe ser este estudio fundado de riesgos en su metodología (Manríquez, 2024).

En esta línea la ciudad de Melipilla se torna interesante ya que su plano regulador comunal no se ha actualizado por completo desde el año 1988, sólo a través de modificaciones seccionales sin incluir áreas de quebradas o suelos degradados de ambos cerros de la ciudad. Respecto a la degradación, se destaca que la modificación de los entornos naturales por actividades antrópicas ha ejercido para el caso de Chile central una fragmentación y disminución de la masa de bosques esclerófilos a escala urbano y rural, aumentando el riesgo para asentamientos humanos en suelos ya deteriorados (Pliscoff, 2020).

Para el caso del área dentro del límite de extensión urbana de la ciudad de Melipilla (y al igual como ha sido para la zona centro del país) estos procesos se han expresado también en el cambio de uso de suelo agrícola y boscoso por la expansión del suelo urbanizado (Garfias, et al, 2018), a su vez, la modificación de las dinámicas sedimentarias de los cerros El Sombrero y Esmeralda producto de proyectos de instalación de torres de alta tensión han alterado y aumentado los procesos de escurrimiento de sedimentos junto con la aceleración

de procesos erosivos en caminos de tierra lo cual podría derivar en futuros deslizamientos en masa cercano a las viviendas (SMA, 2020). Estos entornos naturales en Melipilla a 2024 aún se enfrentan a estas presiones antrópicas, como lo son el sostenido crecimiento urbano hacia el sur-poniente de la ciudad; nuevos trazados de **megaproyectos eléctricos de alta tensión**, considerados tal al ser de interés nacional por la continua demanda eléctrica del país y ejecutados a escala regional, teniendo que ser evaluados ambientalmente en todas las comunas por la cuales su trazado pasa; y la recurrencia de severos incendios forestales a lo largo de las últimas 2 décadas (2004, 2011, 2013, 2018 y 2023) afectando a la cobertura vegetal de estos tipos de suelos en los cerros.

Este escenario complejo y reciente comprende un ámbito de riesgo asociado a la amenaza necesaria de analizar y comprender para mitigar el avance del deterioro del suelo y vegetación dentro de la ciudad de Melipilla.

### **Alcances del ordenamiento territorial actual (PRCM/PRMS).**

Por otra parte, y en línea con la nueva ley, se presenta un escenario desafiante para la administración municipal respecto a la zonificación y usos de suelos que se norman a través de los planos reguladores comunales y regionales, debido a que en el año 2018 y tras años de gestión de un nuevo plano regulador este fue rechazado por unanimidad en el consejo municipal del 10 de agosto de ese año (I. Municipalidad de Melipilla, 2018), quedando descartado también su estudio fundado de riesgos dejando sin ninguno al municipio. Aun así, este plano proponía la reducción de zonas de protección del medio ambiente natural aledañas al cerro y las reemplazaba por áreas urbanizables de mediana y baja densidad. Por lo tanto, la calidad de un nuevo PRC respaldado por la ciudadanía y por conocimiento geofísico es crucial para avanzar en materia de planificación territorial, requiriendo un estudio fundado de riesgos para abarcar zonas aún no estudiadas dentro de áreas no urbanizadas aún.

Para el caso de la ciudad de Melipilla la superficie no urbanizada de ambos cerros no está protegida en su totalidad a través de la zonificación de área verde para parque intercomunal (AV-PM) del Plano Regulador Metropolitano de Santiago (IDE-MINVU, 2021) ni se le ha oficializado un estudio fundado de riesgos. En la práctica quedan fuera de AV-PM áreas relevantes de los cerros como ápices de quebradas o zonas de escurrimiento recurrente de sedimentos, que, aguas abajo atraviesan zonas con cobertura vegetal (ver figura 3) distribuidas en densidades semidensas, abiertas y muy abiertas de matorral espinoso del bosque esclerófilo (CONAF, 2013).

Se plantea que estas variables de **falta de delimitación de riesgos en zonas no urbanizadas** y el **deterioro del bosque esclerófilo de estas zonas** ha de ser de consideración, principalmente por nuevos eventos sedimentarios ocurridos el año 2020. El evento aluvional de junio de 2020 en el sector Los Valles provocó un anegamiento con sedimento en las viviendas (ver figura 1), traducándose en pérdidas materiales de los residentes, el máximo de mm en 24 horas registrado ese año fue un total de 40 mm, correspondientes a ese día, aun

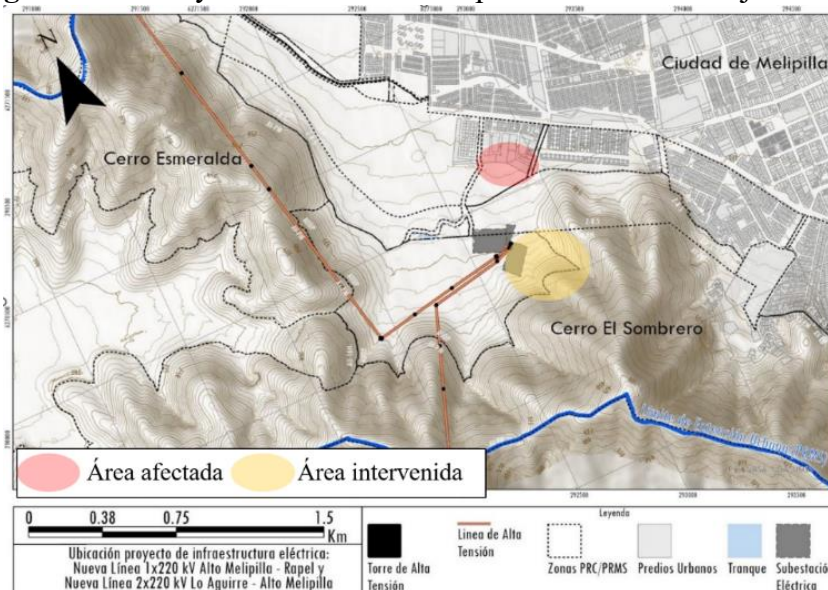
así, siendo muy menor al máximo histórico los 96,8 mm del año 1987 (DGA/MOP, 2023). La intervención de una quebrada para la instalación de torres de alta tensión y el acopio indebido de sedimentos provocó que esta lluvia arrastrara mucho más sedimento de lo que sería en una condición de suelo no intervenido. Los sedimentos provenían aguas arriba desde la zona normada por el actual Plano Regulador Metropolitano de Santiago como AUDP (área urbanizable de desarrollo prioritario), aún no urbanizada (figura 2 y 3). Esta zonificación no ha sido modificada desde su creación el año 2006, año en el cual la comuna de Melipilla pasó a ser incorporada al PRMS (SERVIU, 2006). Adicionalmente en este sentido, respecto a áreas naturales de cerro El Sombrero y cerro Esmeralda tampoco se ha hecho alguna modificación sustancial respecto a áreas urbanizables en el Plano Regulador Comunal de Melipilla, ni tampoco a nuevas zonas de preservación del medio ambiente natural (Ilustre Municipalidad de Melipilla, 2023).

**Figura 1.** Flujo de sedimentos encausado en urbanización Los Valles (Z-4).



Fuente: Melipilla Noticias, 30 de junio 2020.

**Figura 2.** Proyecto relacionado al episodio aluvional de junio 2020.

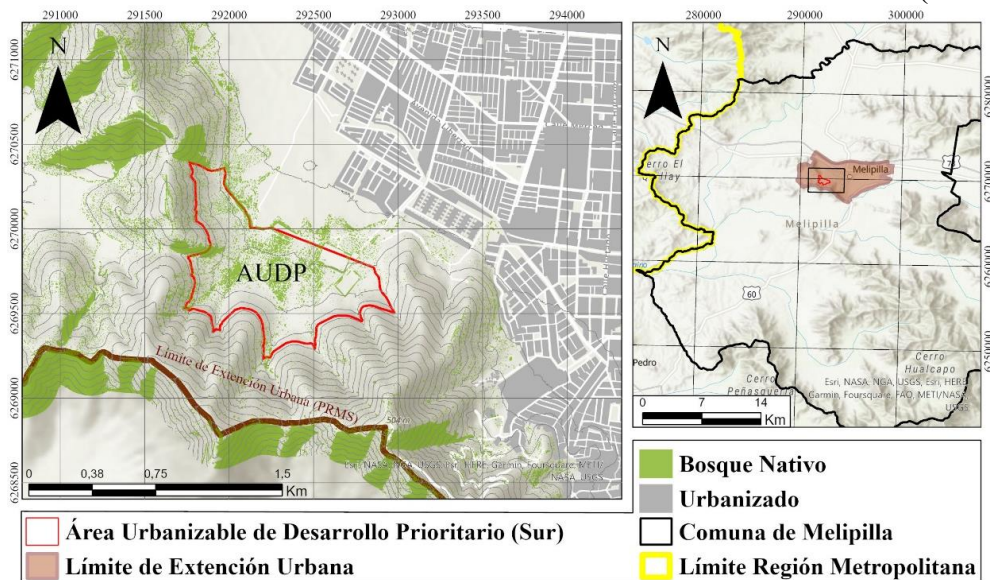


Fuente: Elaboración propia con datos SEIA (2014).

## Respecto a la zona AUDP Sur

Su ubicación destaca al poseer los últimos remanentes de bosque esclerófilo en distribuciones y densidades variadas dentro del límite de extensión urbana y cercano a viviendas (Figura 3), con especies como Maitén, Espino y Quillay (CONAF, 2013). Se han emplazado proyectos en esta zonificación.

**Figura 3.** Ubicación de zona Área Urbanizable de Desarrollo Prioritario (AUDP Sur).



Fuente: Elaboración propia.

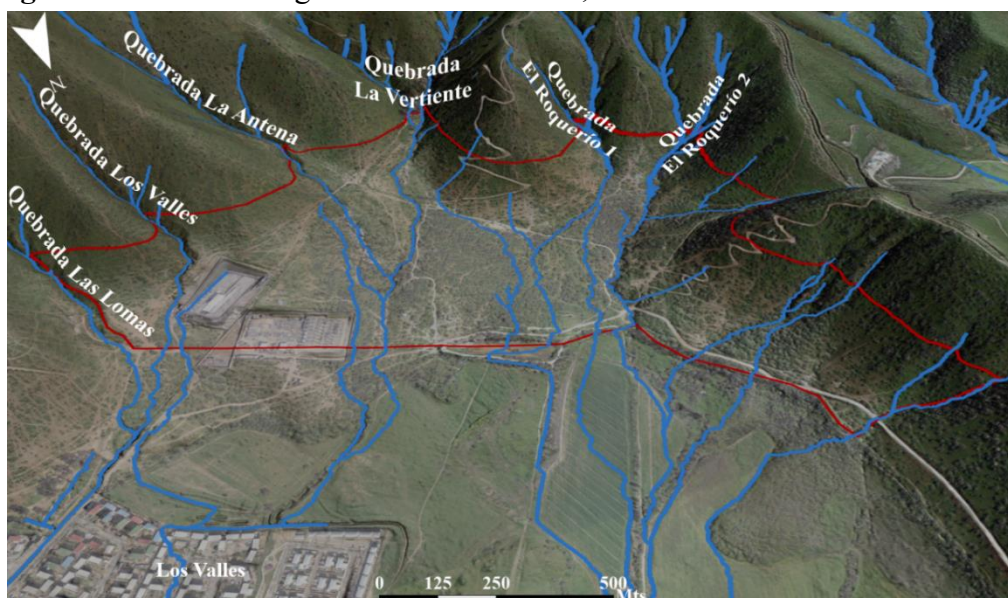
Por otro lado, las laderas intervenidas previamente con megaproyectos de infraestructura eléctrica son de pendiente moderadas a escarpadas, donde dada estas características procesos como la erosión ocurren de manera acelerada debido a la suma del factor antrópico como condicionante de los deslizamientos de material no consolidado mediante la intervención, a modo de considerar como estas modificaciones del suelo facilitan o generan flujos de barro, derrubios o bloques rocosos (Campos, 2014). En este sentido es importante mencionar que el nivel de erodabilidad o erosión potencial del suelo para este sector de la comuna de Melipilla se estima en valores de “Severos” y “Muy Severos” respecto al estudio “Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos en Chile” para la región metropolitana, determinando que la provincia de Melipilla reúne para ambos valores de erosión potencial un total de 253.330 hectáreas (CIREN, 2010). Pero cabe señalar que este estudio fue levantado a escala regional mediante imágenes satelitales, faltando precisión para estimar los niveles de erodabilidad para cerro El Sombrero y Esmeralda a detalle local.

Se destaca que en aquella zona nuevos megaproyectos de infraestructura eléctrica con torres de alta tensión han sido aprobados con resolución de calificación ambiental en febrero de 2023, como lo son el proyecto “Nueva Línea 2x220 Nueva Alto Melipilla - Nueva Casablanca - La Pólvora - Agua Santa” (SEIA, 2023). Este proyecto se suma en AUDP sur al ya construido (y cuestionado ambientalmente) “Línea de transmisión lo Aguirre-alto Melipilla

y alto Melipilla-Rapel” ejecutado en esta zonificación desde octubre de 2019 e implicado en denuncias de parte de la Superintendencia de Medio Ambiente por “Riesgo Ambiental” (SMA, 2020) relacionado a incumplimiento de estabilización de taludes y modificación de quebradas.

Finalmente, en esta zona cerro El Sombrero drena las aguas de su ladera norte, activando 5 quebradas principales donde se canalizan la mayoría de los sedimentos generados (Figura 4), los cuales en parte pueden llegar a la zona habitacional de Los Valles (previamente afectada), por medio de dos de las quebradas que se ubican en el sector oriente de AUDP.

**Figura 4.** Red hidrográfica de ladera norte, cerro El Sombrero en zona AUDP.



Fuente: Elaboración propia, visor Local Scene ArcGIS Pro.

De esta manera la zona AUDP sur, con los antecedentes ambientales expuestos, se torna de interés de estudio debido a su ubicación y usos permitidos por los instrumentos de ordenamiento territorial que la rigen. En esta línea procesos como la posible urbanización en AUDP, emplazada en una zona de transición entre el avance del suelo urbanizado y el entorno natural, plantean una eventual actualización del nuevo plano regulador comunal de Melipilla, para poder dar respuesta a los objetivos principales de la nueva política nacional para la reducción del riesgo de desastres (ONEMI, 2020), apuntando a reducir al máximo las externalidades negativas de urbanización en áreas de riesgo, tal como establece la Ley SENAPRED respecto al conocimiento científico de la amenaza, en línea con el enfoque de mitigación y prevención.

La contemplación de urbanización futuras en la zona requiere una revisión de factores que incidirían en su sostenibilidad a largo plazo, si ambos planos (PRC y PRMS) se mantienen desactualizados, sumado a la tendencia de instalación de nuevos megaproyectos de infraestructura eléctrica el entorno natural y su cobertura vegetal podría sufrir una disminución y mayor presión a su desarrollo natural.

### 1.3 Estado del arte

#### 1.3.1 Erodabilidad de laderas y quebradas.

La Erodabilidad se ha estudiado como un proceso por el cual se estima la probabilidad de pérdida de suelo, explicado por múltiples factores adyacentes a la física que pueda experimentar este, tomando relevancia la relación del desprendimiento de los sedimentos con la red hidrográfica (Jaque & Manzanarez, 2005).

Este proceso natural se ha evaluado durante décadas desde una perspectiva cualitativa mediante el análisis de formas erosivas en terreno, hasta de manera cuantitativa con el análisis estadístico de suma de variables relacionadas a la degradación del suelo (Vega & Febles, 2005). Este último enfoque ha ido perfeccionándose continuamente con metodologías que modelan datos estandarizados mediante la sumatoria ponderada de **factores condicionantes físicos o de base**, como la exposición solar, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y geología, obteniendo como resultado un producto expresado como índice porcentual o probabilístico con una excelente aproximación a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en particular (Padilla, 2007).

Esta constante mejora en la estimación de la erodabilidad a nivel de cuencas ha permitido estimar un fenómeno más amplio definido como **susceptibilidad a remociones en masa**, estimando gracias a la comprensión de sus condicionantes, amenazas como flujos de material no consolidado del suelo y caída de bloques/rocas en mediana y alta montaña (Padilla, 2007). Con la evolución de las técnicas de percepción remota durante las últimas décadas la escala de representación es cada vez más local, aumentando la resolución espacial y disminución de distancia de muestro del suelo (Ground Sample Distance o GSD en teledetección), permitiendo análisis a nivel urbano con alto detalle y practicidad (Campos, 2014).

Para la mayoría de los casos aplicados en Chile la remoción en masa se ha modelado y evaluado para comprensión de su alcance como amenaza, estableciendo las áreas de influencia de este fenómeno hacia la población.

Parte de este tipo de metodologías y/o similares más resultados se han incorporado en diversos PRC de la Región Metropolitana, tal es el caso del reciente PRC de la comuna de Renca elaborado el 2021, el cual establece zonas de alto riesgo para los Asentamientos Humanos en cerro Renca ladera sur, basado en un estudio técnico previo de la consultora Arcadis (Ilustre Municipalidad de Renca, 2021), por otro lado también se han empleado estas metodologías a nivel de cuenca como es en caso de la región de atacama (Fernandez H. & Espinoza C., 2022).

### 1.3.2 Alcances del ordenamiento territorial respecto a desastres siconaturales

Los **instrumentos de planificación territorial** están establecidos a través de Ley General de Urbanismo y Construcción de Chile, reuniéndolos bajo el rol de la planificación urbana a través de la administración de los municipios, en el caso de los planos reguladores comunales, y a través de las secretarías de vivienda y urbanismo en caso de los planes intercomunales.

Las zonificaciones establecidas en estos instrumentos según sus usos permitidos pueden ayudar a la pérdida de la transición urbano-medio natural convirtiéndose en un problema para las urbanizaciones aledañas, esto mediante la impermeabilización de suelos derivados de laderas, principalmente porque al urbanizar no se considera precisamente las condiciones técnicas del suelo y su emplazamiento, de esta manera se propicia la sensibilidad ante un evento hidrometeorológico (Caballero & Sosa, 2015).

Ante este panorama se establece importante el estudio y la recurrencia de fenómenos naturales, según la Ley SENAPRED (Ministerio del Interior y Seguridad Pública 2021, artículo 24) establece la incorporación del enfoque preventivo respecto al riesgo de desastres socio naturales, en esta medida legalmente establece:

*“c) Invertir en la reducción de los factores subyacentes del riesgo, mediante el desarrollo de una planificación que aborde de manera transversal los factores de las dimensiones físicas, ambientales, económicas y sociales que incrementan el riesgo en los territorios y comunidades, así como también las medidas necesarias para mitigarlos.”* (Ley 21.364, artículo 24 letra c.).

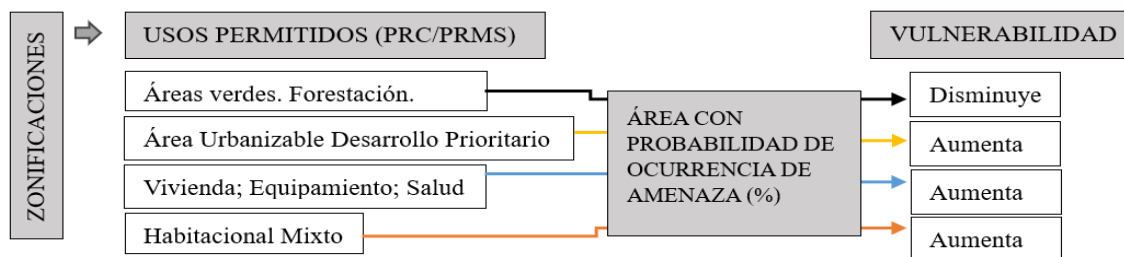
Este contexto legal puede extrapolarse a conceptos relacionados al modelo de presión de Blaikie, et al (1997), el cual centra que el desastre socio natural es el resultado del **contexto de presión** entre condicionantes como; causas de fondo, presiones dinámicas y condiciones inseguras; y la probabilidad de ocurrencia de una amenaza. Para el caso del ordenamiento territorial, una zonificación mal delimitada respecto a una amenaza representaría condición insegura respecto al **aumento de la exposición física** a un área donde exista **probabilidad de ocurrencia de una amenaza** en particular. El aumento de la exposición en estos casos aumenta la vulnerabilidad física, la cual presiona la ocurrencia de desastres socio naturales.

La norma actual establece de manera privativa asentamientos en zonificaciones de sitios propensos a amenazas, mediante la figura de zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas (Espinoza, 2013). Tales zonificaciones definen el alcance real de urbanización sobre los suelos disponibles en una ciudad. La omisión o falta de identificación de este tipo de áreas dentro de los instrumentos de planificación crea **condicionantes institucionales de la vulnerabilidad**, siempre y cuando esta omisión por consiguiente permita la urbanización sobre estas áreas (Figura 5).

Finalmente, la construcción del riesgo de desastres siconaturales se entiende como la **probabilidad** de que un evento adverso genere un impacto negativo frente a la población o

sus medios de vida. El riesgo de desastres socionaturales al ser un constructo social probabilístico se pueden reducir o mitigar parte de sus factores subyacentes que lo originan.

**Figura 5.** Ejemplificación del riesgo construido a nivel institucional.



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.3.3 Bosque Esclerófilo

El bosque esclerófilo chileno característicamente ha sido moldeado por un clima mediterráneo, es poseedor de especies únicas en el mundo, siendo similares las que se encuentran en otros climas mediterráneos como la costa oeste de California en Estados Unidos, la costa sur de Sudáfrica, en el sur de Europa como España e Italia, el norte africano y el territorio suroeste de Australia (CIREN, 2011). En Chile, por ejemplo dichas especies comprenden una amplia cobertura en la zona central, distinguiendo 2 figuras forestales principales asociadas a **Bosques latifoliados siempreverdes esclerófilos con lluvias invernales y sequía estival pronunciada** a lo largo de la depresión intermedia, las cuales son: *bosques de tierras bajas o planas* y *bosques de tierras altas y media altitud*. (Donoso, 1982). Estos **bosques de tierras bajas o planas** presentan amplia predominancia de Espinal o sabana de **Acacia caven** en la Región Metropolitana, abarcando principalmente faldeos de cerros en cordillera de la costa y de los andes. A su vez, los espinales poseen **gran capacidad asociativa** con otras especies arbóreas como Algarrobo, Maitén o Litre, especies cactáceas como el Quisco y plantas terrestres del género puya (Donoso, 1982).

Respecto a estos espinales, se han estudiado a nivel regional concluyendo que estos se encuentran en su mayoría como matorral abierto, se han distribuido como **fragmentos separados** y poco densos, con especies en su mayoría adultas coincidiendo con que se encuentran en un proceso de degradación (Garfias, et al, 2018) (Valdivia & Romero, 2013) o de explotación no sustentable (Glaría, 2013). Por otro lado, la normativa describe que si no hay densidad no es considerado bosque en el sentido que supere 5000 metros cuadrados, un ancho mínimo de 40 metros y un 10% de superficie en ambientes áridos y semiáridos, y un 25% en condiciones favorables (Ley 20.283). En esta situación se hace necesario precisar los bosques a estudiar y si encajan en lo descrito por la ley vigente.

De esta manera, el componente esclerófilo y su contexto de protección es relevante de relacionar a las zonificaciones y estudios aluvionales debido a su directa relación en el desencadenamiento de este último, entendiendo el rol como estabilizador de estos procesos



de manera natural (Cortez, 2019). La integración de ambos elementos se ha estudiado que entrega 2 beneficios: Una **mitigación morfofuncional de la amenaza de remociones en masa**, y la posibilidad de extensión de elementos paisajistas que puedan aportar a la creación de áreas verdes comunales en las zonificaciones que el estado o la sociedad civil promuevan y demanden (Cortez, 2019). Para este caso la caracterización de una masa forestal representa una oportunidad y beneficio en función del estado y permanencia de esta última.

Adicionalmente las coberturas de espinales, para la mitigación del avance de amenazas, pueden funcionar como primer eslabón en procesos de sucesión ecológica para la restauración de suelos degradados, esto gracias a que la forestación bajo doseles de espinos entrega mejores resultados en el crecimiento de otras especies arbóreas con métodos de siembra o plantación de especies jóvenes (Becerra, et al., 2018), aumentando la densidad de especies esclerófilas sobre estos suelos.

#### *1.3.4 Dinámicas presentes en la ciudad de Melipilla*

Para el caso de Melipilla, no se han encontrado estudios que detallen a escala local y urbana su estado biológico y su nivel de protección real aplicable ante la ley, pero la situación de bosques nativos no protegidos por un PRC o PRMS es algo compleja, tal como establece Romero *et al*, (2014) la normativa chilena respecto a la protección de espinales, y más precisamente, a los presentes en zonas ribereñas o de drenaje de cuencas (como es en la zona AUDP) es bastante ambigua debido a la multiplicidad de normas legales que se superponen y que establecen distintas interpretaciones a las figuras forestales, y que no siempre logran establecer eficazmente, para una masa forestal con un rol ecológico claro, su protección. Esto ha llevado a que en algunos contextos la protección de la zona ribereña o quebrada para el caso de la zona central fluctúe desde 5 a 20 metros a cada lado del fondo de quebrada.

Respecto a la comuna de Melipilla, esta experimenta diversos procesos de crecimiento urbano continuo. Se ha estudiado que el crecimiento de la ciudad de Melipilla ha sido posible en desmedro del reemplazo de los suelos de aptitud agrícolas, proceso evidenciado históricamente en los límites urbano oriente y poniente de la comuna (Pezoa & Henríquez, 2014). En vista de estos procesos de urbanización extendida, se proyecta que la demanda del suelo establecida por el Plano Regulador Metropolitano de Santiago se materialice sobre terrenos de espinales que pueden ser reconvertidos a residencial (Lo que hoy es la zona AUDP) (figura 4), provocando que la transición actual de la ciudad hacia los entornos donde se concentran estas especies, como las terrazas del río Maipo y las laderas del cerro El Sombrero y Esmeralda, se pierdan (Pezoa & Henríquez, 2014).

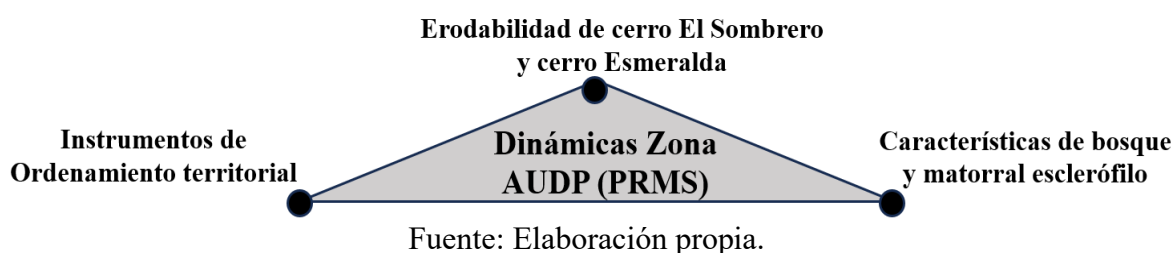
Por su parte, respecto a la práctica profesional llevada a cabo en 2023 por el investigador, no se contaba en el municipio con estudios a escala urbana respecto al comportamiento de las aguas y sedimentos de ambos cerros dentro del límite de extensión urbana, recién en noviembre de 2022 se generó el **primer modelo de elevación** a escala urbana (50 cm/píxel).

Respecto a otras zonificaciones relacionadas a la ciudad de Melipilla se encuentra la **preservación del medio ambiente natural (Z-R-5)**, en este medio natural como componentes relevantes se encuentran especies de bosque esclerófilo, y espinoso en forma arbórea y de matorral en diversas densidades, tomando **gran relevancia dentro del límite urbano** (figura 6) el matorral espinoso del secano costero con 2 especies: Espino (*Acacia Caven*) y Maitén (*Maitenus boaria*), también en menor medida Quillay (*Quillaja saponaria*), Boldo (*Peumus boldus*) y Peumo (*Cryptocarya Alba*) (Mondaca, 2019). En este contexto se establece que existe un nivel de exposición de la especie *Acacia Caven* como vulnerable en Chile central y que se debe establecer tal sea el caso un diagnóstico de riesgo de colapso del ecosistema del espinal el cual identifica una fase deteriorada del bosque esclerófilo (Pliscoff, et al. 2019).

#### 1.4 Área de estudio

El área de estudio fue escogida por la cantidad de factores relevantes relacionados entre sí (Figura 6) en cerro El Sombrero (Figura 7) y cerro Esmeralda (Figura 8) dentro del límite de extensión urbana (PRMS), en ambos cerros se pueden identificar dinámicas físicas y vegetacionales que convergen especialmente en la zona AUPD sur, pero también en el resto de las zonificaciones aledañas a ambos cerros. Los antecedentes expuestos más el previo análisis de imágenes satelitales y de imágenes en terreno mediante dron permiten establecer un área común, de influencia y/o presencia de los temas expuestos. Se identificaron y seleccionaron las zonificaciones pertinentes al caso.

**Figura 6.** Diagrama de temáticas identificadas dentro del área de estudio.



#### Sobre el área de estudio

La ciudad de Melipilla, comuna y capital provincial de la provincia de Melipilla en la Región Metropolitana se emplaza al nororiente de cerro El Sombrero y al oriente de cerro Esmeralda, con 505 msnm y 391 msnm respectivamente cada uno en sus cumbres. Los cerros islas que, en algunos sectores se encuentran urbanizados (Figura 7), representan gran porción de las zonas PRMS. Por contraparte la ciudad de Melipilla, con más de 43.393 viviendas (INE, 2017), se encuentra solo urbanizada en las zonas PRC con un sostenido crecimiento habitacional hacia el sector poniente y en cercanías al aumento de pendiente de los cerros, como lo son las urbanizaciones Lomas de Manso, Los Valles, Altos del Parque, Vista

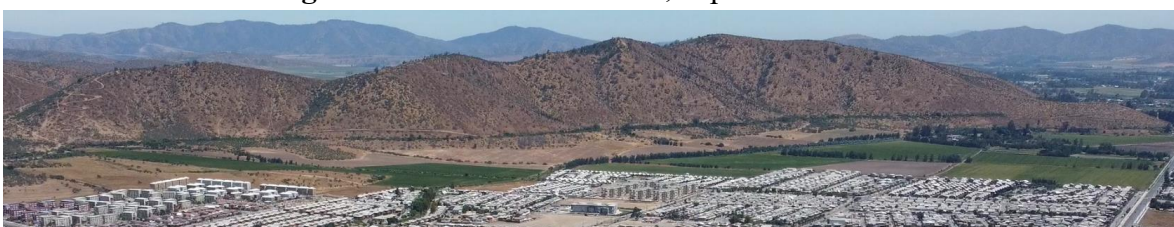
Hermosa y Huechún Alto. Las zonas no urbanizadas del PRC corresponden a usos tradicionales de rotación cultivo pradera, emplazadas al sur poniente de la ciudad (figura 8).

**Figura 7.** Cerro El Sombrero, exposición nororiente



Fuente: Fotografía Marco Aliste

**Figura 8.** Cerro Esmeralda, exposición oriente.



Fuente: Fotografía Marco Aliste

## Escala

La escala de análisis es urbana, comprendiendo para el análisis solo zonificaciones dentro del “Límite de extensión urbana” (PRMS) de la ciudad de Melipilla (Tabla 1), específicamente del sector sur-poniente de esta área límite, excluyendo otras áreas urbanas de la ciudad como también otros límites de extensión urbana PRMS fuera de la ciudad (como Bollenar, Pomaire, Codigua y Pabellón). Por otra parte, esta escala urbana aborda la comprensión de elementos naturales locales.

**Tabla 1.** Componentes locales relacionados a los objetivos.

← Nivel de escala →			
Escala Urbana		Escala Local	Elementos Locales
Límite de extensión urbana, Ciudad de Melipilla	PRMS	Ciudad de Melipilla	Urbanizaciones establecidas
		Cerro El Sombrero y Cerro Esmeralda	Red de drenaje naturales Infraestructura eléctrica
	PRCM	Áreas Urbanizables	Fragmentos de bosque esclerófilo Predios Agrícolas

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las zonificaciones consideradas se destacan las siguientes, las cuales incluyen ambos cerros; las zonas de transición entre lo urbanizado y los cerros; y las urbanizaciones del sector sur-ponientes de la ciudad de Melipilla, las cuales guardan cercanías con la problematización.

Se considera un área contigua, limitando por el límite norte de cerro esmeralda, junto a la

AUDP Norte del PRMS, pasando por Z-4 no urbanizada, continuando por el canal Puangue hasta la avenida Chile al llegar a camino a Rapel en puente Ing. Marambio, cerrando el área con el límite de extensión urbana con la totalidad de zonas PRMS.

**Tabla 2.** Zonificaciones relacionadas al estudio.

INSTRUMENTO: PLANO REGULADOR METROPOLITANO DE SANTIAGO	
ZONA	USO PERMITIDO
AU-16H-	Área urbanizable. Máximo 16 habitantes por hectárea. “Santa Amelia de Huechún”.
AUDP	Área urbanizable de desarrollo prioritario. Máximo 160 habitantes por hectárea.
AV-PM-	Área verde para parques intercomunales. Parque Cerro Esmeralda y Parque Cerro El Sombrero.
INSTRUMENTO: PLANO REGULADOR COMUNAL DE MELIPILLA	
ZONA	USO PERMITIDO
AV	Áreas verdes.
Z-4	Vivienda; equipamiento: salud, educación, seguridad, culto, cultura, orgs. comunitarias, áreas verdes, deporte, esparcimiento, turismo, comercio minorista, servicios; talleres y almac. inofensivo, transporte.
Z-5	Vivienda; equipamiento: salud, educación, seguridad, culto, cultura, orgs. comunitarias, áreas verdes, deporte, esparcimiento, turismo, comercio minorista, servicios; talleres y almacenamiento inofensivo.
Z-E-1	Cementerio, cuyas normas se regirán por los servicios competentes.
Z-R-1	Restricción por alto riesgo de asentamiento humano. Áreas verdes, forestación.
Z-R-3	Restricción de acueductos y canales de regadío. Franja contigua a los bordes del canal puangue, regida por el código de aguas.
Z-R-4	Protección de pozos de captación, filtros y estanques de agua potable y plantas de tratamiento de aguas servidas.
Z-R-5	Preservación del medio ambiental natural. Áreas verdes, forestación y recreación con construcciones ligeras.

Fuente: Elaboración propia basado en datos SIMAP I. Municipalidad de Melipilla (2023).

**Figura 9.** Zonas por instrumento de planificación. Cerro Sombrero/Esmeralda.



Fuente: Elaboración propia con datos PRMS y PRC Melipilla (2023).

## **1.5 Objetivos del estudio**

### *1.5.1 Objetivo General*

Analizar la erodabilidad del suelo y la vegetación arbórea y arbustiva dentro del límite de la zona AUDP del cerro El sombrero y Esmeralda (zona de extensión urbana de la ciudad de Melipilla) para la generación de propuestas de zonificación.

### *1.5.2 Objetivos Específicos*

- 1- Evaluar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda mediante elaboración de índice SvFd.
- 2- Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda.
- 3- Delimitar zonas Z-R-1 y Z-R-5 en la zonificación AUDP del instrumento PRMS actualizado en base de riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda.

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

El enfoque del estudio es semi-cuantitativo, mediante el procesamiento en software de información espacial georreferenciada y estandarizada utilizada para la obtención de áreas con cualidades específicas como producto final para su posterior análisis. Se emplea caracterización y procesamiento de áreas de interés dentro de zonas ilustradas en la figura 9.

El objetivo general es el resultado del análisis de los resultados espaciales de 2 factores: Primero, **área y probabilidad de una amenaza de remociones en masa**, y segundo **la zonificación de la vegetación esclerófila de relevancia de dentro del área AUDP** con el fin de esclarecer características más precisas sobre esta zona PRMS. (ver anexo n°1).

Los insumos para utilizar comprenden información territorial preelaborada y elaborada por el investigador y diversas fuentes, junto a fotografías aéreas recolectadas mediante técnicas de percepción remota a nivel local. Los recursos de software comprenden las herramientas SIG ArcGIS Pro 3.1.3 y Agisoft Metashape Profesional, todos los datos fueron trabajados y levantados en el Datum SIRGAS 2000, proyección UTM Huso 19 Sur.

### 2.1 Identificar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a Erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda mediante elaboración de índice SvFd.

#### 2.1.1 Caracterización de la Erodabilidad de cerro El Sombrero y Cerro Esmeralda

Se caracterizó mediante la creación de un índice de “Susceptibilidad a remociones en masa” o “**Susceptibilidad del sistema de vertientes a la ocurrencia de flujo de detritos**” definido por Padilla (2007, p19-p20), para este informe “Índice SvFd”. El índice para analizar caracteriza en escala de 1 a 5 (“Muy Bajo” (1) a “Muy Alto” (5)) que tan probable es que una superficie o área desencadene un proceso de este tipo, espacializando este fenómeno físico para estimar en ambos cerros **la potencial generación de sedimento suelto en laderas**, los cuales puedan ser **removidos por agentes erosivos** como el agua o la gravedad, comprendiendo el deslizamiento del suelo junto al arrastre de todo el material superficial y subsuperficial de este. La elaboración de datos estandarizados para la creación del índice considera la creación de 5 capas relacionadas al contexto físico de ambos cerros, basándose en metodologías similares respecto a análisis multicriterio.

**Tabla 3.** Capas y criterios para aplicar en tabla de atributos.

Capa	Clasificaciones	Índices SvFd
Pendientes	Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto	Valores numéricos enteros del 1 al 5 respectivamente.
Exposición		
Cobertura Vegetal		
Tipo de Suelo		
Geología		

Fuente: Elaboración en base a Padilla (2007).

La clasificación se aplicó a cada capa del área de estudio mediante la caracterización completa en la tabla de atributos a través del relleno de filas y columnas de cada capa en formato Shape (SHP). Para la creación de los SHP de cada capa se ejecutaron los geoprocursos respectivos detallados en anexo n°2.

**Tabla 4.** Insumos base utilizados para creación de capas base.

<b>Insumos Base</b>
Ilustre municipalidad de Melipilla (2022): <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ortofotos a 10 <b>cm/píxel</b> color verdadero formato Tiff.</li> <li>2. Modelo digital de terreno (DTM) a 50 <b>cm/píxel</b> formato Tiff.</li> <li>3. Modelo digital de superficie (DSM) a 50 <b>cm/píxel</b> formato Tiff.</li> <li>4. Zonas PRCM + PRMS.</li> </ol>
Agrolog Chile (1981): Carta n° 4-15, 4-20 y 4-21 del “Estudio de suelos del Maipo”
Wall, Z et al. (1996): Carta Geológica del área San Antonio-Melipilla 1:100000
Edáfica (2012): Capa de uso de suelo y vegetación de la Región Metropolitana año 2013 a escala 1:100000

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2 Creación de capas:

#### a) Unidades Geológicas.

Se han georreferenciado el insumo n°3 “Carta Geológica del área San Antonio-Melipilla 1:100.000 (Wall, Z et al. 1996)” (Anexo 3) extraído directamente del visor web de Sernageomin. Para la elaboración de la capa unidades geológica, se resumen en la tabla 5 la litología del área de estudio.

**Tabla 5.** Unidades Geológicas presentes en el área de estudio.

<b>Qc</b>	<b>Subtipo:</b> Ambiente sedimentario. <b>Definición:</b> Bloques hasta arcillas, Inter digitados con lentes de arena y gravas. <b>Ambiente:</b> Coluvial.	<b>Evento:</b> Sedimentación. <b>Nombre:</b> Depósitos Coluviales. <b>Proceso:</b> Sedimentario No Consolidado y Depósitos.
<b>Jlt</b>	<b>Subtipo:</b> Ambiente Plutónico. <b>Definición:</b> Tonalitas y granodioritas de anfíbola y biotita de grano medio con inclusiones máficas (<1%). <b>Ambiente:</b> Sin datos.	<b>Evento:</b> Plutonismo. <b>Nombre:</b> Tonalitas y granodioritas de anfíbola y biotita. <b>Proceso:</b> Plutonismo.
<b>Qip</b>	<b>Subtipo:</b> Ambiente volcánico <b>Definición:</b> Deposito piroclástico de ceniza y lapilli pumíceo, de composición riolítica. <b>Ambiente:</b> Extrusivo aéreo	<b>Evento:</b> Volcanismo. <b>Nombre:</b> Ignimbrita Pudahuel. <b>Proceso:</b> Volcanismo piroclástico.
<b>Qfa</b>	<b>Subtipo:</b> Ambiente sedimentario. <b>Definición:</b> Gravas, arenas y limos. Ubicadas a alturas de 3-30 m con respecto al curso fluvial actual. <b>Ambiente:</b> Fluvial.	<b>Evento:</b> Sedimentación. <b>Nombre:</b> Depósitos fluviales antiguos. <b>Proceso:</b> Sedimento no Consolidados y depósitos modernos.

Fuente: Elaboración propia con datos de la carta geológica de (Wall Z, et al. 1996).

Los valores asignados a cada unidad fueron los siguientes:

**Qc:** Clasificación “**Muy Alta**” = 5. En base a su composición, de ambiente coluvial, deriva de la unidad Jlt, heredando sedimento no consolidado y depositado, es decir, derivado de procesos de erosión durante épocas más cálidas desde el holoceno superior a medio hace 7500 años en adelante.

**Jlt:** Clasificación “**Bajo**” = 2. Dado a origen plutónico, su composición de granodioritas y biotitas le otorgan una resistencia a la erosión mayor comparado a los depósitos sedimentarios. Este se ejemplifica que, en el área de estudio, sin modificaciones antrópicas de mega infraestructuras, el sistema geológico del cerro es bastante estable, erosionándose solo en quebradas y puntos de alta pendiente a través de afloramientos rocosos (Anexo 3).

**Qfa:** Clasificación “**Moderado**” = 3. Su conexión con la paleo geomorfología fluvial de la zona, conteniendo depósitos de ambiente sedimentario, desde gravas a arcillas.

**Qip:** Clasificación “**Alto**” = 4. Esta composición está relacionada a eventos piroclásticos históricos derivados de la Ignimbrita Pudahuel, dentro de sus propiedades en mixturas con otro tipo suelo más arcillosos como los de Melipilla conforman un suelo más impermeable, haciendo que su saturación por agua sea más rápida, provocando el anegamiento o deslizamiento del material removido aguas arriba.

#### b) Cobertura vegetal

Los tipos de cobertura vegetal son otro factor diferenciador del tipo de susceptibilidad a remociones en masa dentro de la capa de cobertura vegetal, dado la relación de esta con la contención del suelo se interpretó suelos más o menos sensibles según este factor.

Se utilizó el insumo n°5 “Catastro de Uso de Suelos y vegetación de la Región Metropolitana” (2013). Se detallan los criterios aplicables al área de estudio en la tabla 6, correspondiente a las coberturas presentes en el insumo y clasificación utilizada.

**Tabla 6.** Criterio usado y distribución presente en área de estudio para asignación de índice SvFd.

Subcategoría de uso	Clase de cobertura	Arboles	Arbustos	Herbáceas	Índice SvFd
<b>Matorral</b>	Semidenso	<10	50-75	0-100	Alta
	Abierto		25-50		Alta
	Muy Abierto		10-25		Muy Alta
<b>Matorral Arborescente</b>	Semidenso	10-25	50-75	0-100	Baja
	Muy Abierto		10-25		Moderada
<b>Renoval</b>	Denso	>75			Muy Baja
	Semidenso	50-75	0-100	0-100	Muy Baja
	Abierto	25-50			Muy Baja

Fuente: Elaboración propia con datos Geomorfología de montaña Padilla (2007, p-107).



La cobertura vegetal del insumo n° 5 esta levantada a escala 1:30.000 (Edáfica, 2012) (Anexos 5), para precisar la escala al estudio se adaptó por fotointerpretación este insumo (Anexo 6).

Respecto a la asignación de valores estos se resumen en los siguientes:

**Matorral Muy Abierto:** Clasificación “**Muy Alto**” = 5. La distribución entre especies arbóreas, con mucha distancia entre sí, permite dejar un suelo más expuesto a los agentes erosivos, tales sería la gravedad, la lluvia y el viento. La mínima densidad entre especies arbóreas genera carencia de hierbas y suelos con menor materia biológica, aumentando la degradación por erosión.

**Matorral Abierto y Semidenso:** Clasificación “**Alto**” = 4. La composición de estos matorrales, pese a contener especies diversas al espinillo en sus agrupaciones, no logran abarcar una totalidad de una superficie, distribuyéndose solo como parches cercanos a cauces de agua o laderas sombrías.

**Renoval Muy Abierto:** Clasificación “**Moderado**” = 3. Esta categoría si bien no está presente en la clasificación de Padilla (2007), se tomó los valores de “Matorral Arborescente Muy Abierto” considerando sus similitudes estructurales, tales serían la presencia de árboles sobre 2 metros, característica compartida con los renovales, la cual permite el desarrollo de microclimas asociando a más variedad de especies arbóreas.

**Renoval Semidenso y Matorral Arborescente Semidenso:** Clasificación “**Bajo**” = 2. La cobertura Matorral arb. Semidenso se localiza en sistemas de vertiente con poca exposición solar, permitiendo para este caso amplias coberturas vegetales. También se ha decidido clasificar aquí Renoval Semidenso debido a sus únicos 2 polígonos de poca extensión y colindantes a coberturas Matorral Muy Abierto, así como también al tener presencia de arenas y pedregosidad.

**Renoval Abierto y Renoval Denso:** Clasificación “**Muy Bajo**” = 1. Ambas coberturas vegetales solo fueron localizadas en las divisorias de agua<sup>1</sup> a metros del límite de extensión urbana, teniendo relación directa con la ladera sur del cerro El Sobrero.

**Rotación cultivo / Pradera:** Clasificación “**Alto**” = 4. Si bien, puede contener cultivos, la ausencia de árboles mantiene una alta exposición al agua. La cobertura de “Centros urbanos e industriales” ha sido definida como “Muy Alto” producto de la escasez de árboles dentro del área de estudio urbanizada, junto a impermeabilidad asociada al asfalto.

### c) **Exposición de ladera**

<sup>1</sup> Punto de máxima altura de un lomaje, cerro o montaña donde las aguas pueden escurrir para cualquier ladera. Es utilizado para delimitar fronteras de países, regiones o comunas.

La exposición de ladera es un factor importante para determinar comportamientos del suelo según su orientación espacial, en medida que más directo sea el ángulo de exposición al sol, mayor será el tiempo que la ladera estará acumulando radiación solar y, por consiguiente, menor será la retención de humedad del suelo, diferenciando la distribución y densidad de la vegetación según este valor de exposición.

Se ha utilizado el insumo n°4 Modelo Digital de Terreno (DTM)<sup>2</sup> a 50 cm por píxel, ideal para identificar los límites y orientación de laderas (Tabla 7).

**Tabla 7.** Clasificación SvFd según exposición solar de ladera.

<b>Exposición</b>	<b>Ángulos en grados</b>	<b>Índice SvFd</b>
Plano	-1	Muy baja
Norte	0-22.5/337.5-360	Muy alta
Noreste	22.5-67.5	Alta
Este	67.5-112.5	Baja
Sureste	112.5-157.5	Muy baja
Sur	157.5-202.5	Muy baja
Suroeste	202.5-247.5	Moderada
Oeste	247.5-292.5	Alta
Noroeste	292.5-337.5	Muy alta

Fuente: Geomorfología de montaña Padilla (2007, p-111).

#### d) **Pendiente del terreno**

Este factor es uno de los más relevantes a la hora de identificar dinámicas. El componente pendiente del terreno interpreta los gradientes geomorfológicos del sistema de lomajes del área de estudio. Cerro El Sombrero y Esmeralda son unidades de lomajes moderados a fuertes desde la cota de altura 200 msnm aproximadamente y que es urbanizable en la zona AUDP hasta los 250 msnm, esto representa un escenario importante en medida que, a más pendiente en el área de estudio, más es la probabilidad de un evento de remociones en masa.

Las pendientes tienen una relación directa con el comportamiento hídrico sobre el suelo, potenciando mediante la gravedad la erosión hídrica o la potencia de arrastre por gravedad.

Para la creación de este índice de susceptibilidad de remoción en masa para la pendiente del terreno se ha utilizado el insumo n° 4 Modelo Digital de Terreno (DTM), para el cual se le aplicó el geo proceso “Slope”, y posteriormente a las pendientes en bruto se les reclasificó según el criterio de la tabla 8.

<sup>2</sup> Digital Terrain Model en inglés.

**Tabla 8.** Proceso de clasificación en base a criterio SvFd.

Pendientes (grados °)	Concepto	Umbral Geomorfológico	Índice SvFd
0-2	A nivel o débilmente inclinado	Erosión nula a leve.	Muy baja
2-5	Moderadamente inclinado	Erosión débil, difusa. Shett wash. Inicio de regueras.	Muy baja
5-15	Inclinado	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. Rill-wash o desarrollo de regueras y cárcavas.	Muy baja
15-25	Muy inclinado	Erosión intensa. Movimientos en masa; flujos de detritos poco frecuentes.	Moderada
25-35	Muy inclinado a moderadamente escarpada	Erosión intensa, movimientos en masa; flujo de detritos frecuentes.	Muy alta
35-55	Moderadamente escarpada	Coluionamiento, movimiento en masa; flujos de detritos y deslizamientos frecuentes.	Muy alta
> de 55	Escarpada a acantilada	Desprendimiento y derrumbes. Escombros en falda.	Baja

Fuente: Geomorfología de montaña Padilla (2007, p-110).

### e) Suelos

La unidad de suelos dentro del proyecto es la capa más relevante y con mayor ponderación de todas. Su elaboración contó de 2 etapas adicionales: visitas a terreno y fotointerpretación para delimitación clasificaciones. El suelo es la cubierta superficial del planeta tierra y está en directa relación con las actividades humanas, en este caso, el horizonte más superficial fue el clasificado.

Como unidad base de suelos se usó el insumo n°2 “Carta número 4-15, 4-20 y 4-21 del Estudio de suelos del proyecto Maipo” (Agrolog Chile, 1981) y se georreferencio para su uso (Anexo 9).

La serie de suelo, descrita en el tomo III de este estudio de suelo, es la PLV “Piedmont Lo Vásquez” que reúne todos los suelos de composición similar, es decir, suelos derivados de erosión y sedimentos generados de una unidad de cerro o montaña<sup>3</sup>, para este caso de los cerros El Sombrero y Esmeralda (Unidad Geológica JLT). En menor medida están presentes las series SDGv y LVZ. Esta capa reúne las unidades de suelo presentes en las 3 cartas del estudio. Reunidas estas cartas se procedió a caracterizar las unidades bases presentes:

**Tabla 9.** Unidades dentro de la serie de suelo “Piedmont Lo Vásquez” y otros.

Unidades de Suelo	Composición	Profundidad	Índice SvFd
PLV-D1/B	Franco	Profundo	Moderada
PLV-D2/C1	Franco	Moderadamente Profundo	Moderada
PLV-D3/C1	Franco	Ligeramente Profundo	Moderada
LVC-C3/CK-1	Franco Arcillo Arenoso	Moderadamente Profundo	Moderada
SDGv-D1/A	Franco	Profundo	Moderada
SDGv-D2/A w3	Franco	Moderadamente Profundo	Moderada
Suelo urbanizado	Franco	Moderadamente Profundo	Baja

Fuente: Elaboración propia con datos Agrolog Chile.

<sup>3</sup> El Piedmont es coloquialmente conocido como “Falda” de un cerro o “Precordillera”.

Los valores asignados para todas las unidades corresponden a “Moderado” debido a que contienen un nivel balanceado de arenas, limos y arcillas, y ninguno es bastante profundo, con un nivel máximo de arraigamiento de 110 cm en los casos más profundos (Agrolog, 1981), valor que será mucho menor en las unidades de cerros. Estos suelos poseen buen drenaje, pero susceptibles a la erosión por su composición mixta. Esta susceptibilidad puede aumentar si es que el porcentaje de arenas es mayor en comparación a los limos y arcillas. La asignación de valor 2 para el suelo urbanizado está dada por su alta impermeabilidad, reduciendo la erosión del suelo, pero facilitando el escurrimiento de aluviones por esta condición.

a) Recolección de información en terreno:

Las visitas a terreno dentro de cerro El Sombrero y Esmeralda se efectuaron para evidenciar lo descrito por la teoría de abanicos (respecto a la diferenciación de sedimentos) (Padilla, 2007), como también asociar la distribución y tipos de sedimentos no consolidados a las diferentes composiciones del suelo. Se identificaron hitos o elementos que representan suelos propensos a removerse, desmoronarse o disgregarse, así también zonas de alta pedregosidad, zonas de acumulación de arenas, tanto en fondos de quebradas como en todos los abanicos aluviales activos (Tabla 10). Esta actividad tiene el fin de aumentar al máximo el catastro de superficies más susceptibles a remociones en masa para la unidad de suelos, siendo por proximidad teórica el más involucrado con el comportamiento de los fenómenos aluvionales.

**Tabla 10.** Elementos identificados en visitas a terreno.

	Clasificaciones en terreno		Índice SvFd
	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	
Procesos Hitos Granulometría	Fondo de quebrada	Erosión en ladera	Muy alta
	Acumulación de arenas	Cárcavas	Muy alta
	Zonas de flujos de arenas y limos	Canalículos	Muy alta
	Alta pedregosidad (Clastos angulosos)	Erosión de escarpes	Muy alta
		Erosión lineal	Muy alta
		Taludes sin estabilizar	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Se han dividido los elementos a identificar en 2, primero los **Franco Arenosos** se relacionan a dinámicas sedimentarias activadas por flujos hídricos, considerando al **agua como principal agente que clasifica la granulometría** y produce su **depositación diferenciada**; segundo los **Franco Arcillo Arenosos** a procesos **ocurridos en las laderas**, influenciados por **agentes erosivos como la radiación solar, la temperatura, el viento y las alteraciones al suelo producida por actividades antrópicas**, como la modificación de laderas a través de taludes que es el caso en ambos cerros.



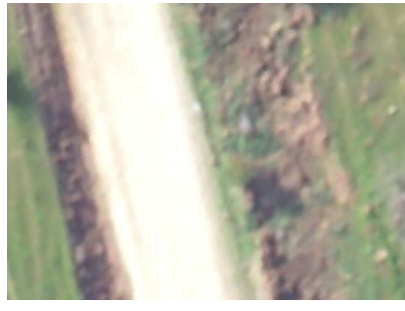
Se tomaron fotografías de los elementos relacionados con etiqueta GPS activada para establecer el trazado y ubicación de los hitos (Anexo 10), para su posterior clasificación e






interpretación de áreas, entendiendo que los procesos mencionados no ocurren de manera aislada y pueden ir variando su tamaño y alcance. Se han elegido las laderas colindantes al área AUDP por presentar los antecedentes ambientales descritos, también por la relevancia del tamaño de las quebradas y sistema de vertientes (Anexo 11).

b) Fotointerpretación

La interpretación de las etiquetas desde el visor de Adobe Lightroom, junto a lo visto en terreno permite crear un criterio para la posterior identificación de los elementos. Para identificar las unidades fotografiadas en la capa base de suelo se han asociado a las imágenes del insumo n°1 mediante un nuevo criterio de fotointerpretación elaborado. Las principales formas para identificar mediante las ortofotos se resumen a continuación:

**Figura 10.** Resumen de imágenes y clasificación creada posterior a visita a terreno.

	<p><b>1) Taludes sin estabilizar:</b></p> <p>Se identifican con bordes café oscuro, sin presencia de medidas de contención. Se ubican en el nivel superior de los caminos de tierra y se asocian a hitos geográficos artificiales como en caminos sinuosos con torres de alta tensión en laderas.</p>
	<p><b>2) Zona de flujos de arenas y limos:</b></p> <p>Suelos café claro a blanco, con formas trenzadas y líneas sinuosas que evidencian flujo hídrico. Se ubican en zonas de transición entre los fondos de quebradas y zonas de depósito. Van acompañados de vegetación arbórea y de matorral, contrastan con el color de la hierba verde.</p>
	<p><b>3) Erosión de ladera:</b></p> <p>Formas café a café oscuro con agrupaciones de formas irregulares que contrastan con la hierba. En caminos de tierra pertenecen a la parte inferior del talud y se emplazan como escurrimiento. También se evidencian en sectores intervenidos.</p>

	<p><b>4) Cárcavas:</b></p> <p>Formas lineales con sinuosidad muy leve. Tonalidad del suelo oscura y color café oscuro sin vegetación, denota sombra por profundidad en comparación a su alrededor. Se ubican generalmente en zonas de pendiente superior a 15° y en laderas.</p>
	<p><b>5) Erosión lineal de canaliculos:</b></p> <p>Formas lineales con sinuosidad muy leve y con apariencia ramificada. Tonalidad del suelo más oscura que denota erosión y profundidad, carece de vegetación. Se ubican en laderas.</p>
	<p><b>6) Afloramiento rocoso o cantera:</b></p> <p>Formas poligonales y redondeadas, agrupadas o por unidad no alejada del resto del afloramiento. Color blanco a amarillo en tonalidades claras. Ubicados en zonas planas o en quebradas por donde hay escurrimiento de agua.</p>
	<p><b>7) Fondo y depósito de quebrada:</b></p> <p>Formas lineales tipo barra en zonas de alta pendiente, formas semi rectangulares a triangulares en zonas de baja pendiente, ambas con presencia de pedregosidad. Tonalidades café claro y textura rugosa con punto blancos, se diferencian del color del suelo que lo rodea, se evidencia vegetación aislada y/o agrupada rodeada de este tipo de suelo.</p>
	<p><b>8) Deposición de arenas:</b></p> <p>Suelo café claro que aparece entre vegetación con distribución tipo deposito como círculos y barras. Se ubican en fondos de quebradas y zonas de baja pendiente.</p>

Fuente: Elaboración propia con ortofotos de I. Municipalidad de Melipilla (2022).  
Clasificación propia basada en visitas a terreno y (Tayupanta, 1993).

### 2.1.3 Creación del índice de susceptibilidad a remociones en masa. Ponderación de capas temáticas: Suitability Modeler.

Se ponderó mediante “Suitability Modeler” de ArcGIS Pro las 5 capas estandarizadas y, ya rasterizadas, con su índice SvFd modelado de 1 a 5. Se dotó de un peso porcentual a cada capa creada. Según este índice, se espacializan el nivel de probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, para así considerar si estas áreas resultantes representarían algún daño por remoción en masa tanto desde las zonas de drenaje, como aguas abajo en las viviendas.

El resultado es una matriz ponderada también de 1 a 5, considerando todos los pesos que se resumen a continuación:

**Tabla 11.** Ejemplificación de ponderación en Suitability Modeler.

Capa temática	Peso ponderado
Suelos	35%
Pendientes	23%
Cobertura vegetal	20%
Exposición	12%
Geología	10%
Ponderación total	100%

Fuente: Elaboración Propia.

#### Elección de ponderaciones

La elección de estos valores a asignar a cada capa se basó en la bibliografía utilizada para la creación de las capas, la cual establecía preliminarmente: Suelos 30%, Pendientes 23%, Cobertura Vegetal 12%, Exposición 12% y Geología 23% (Padilla, 2007).

Para la capa **Suelos** se asignó 35% de ponderación, si bien la ponderación usada en la bibliografía es 30%, se decidió aumentar el peso ponderado de Suelos a 35% debido a que se basó en fotointerpretación de imágenes a 10 cm delimitando a muy buen detalle cada polígono, siendo una capa con más precisión que las cartas de suelo sin ser corregidas por fotointerpretación. De esta manera, por ejemplo, un suelo de **fondo y depósito de quebrada**, aunque tenga poca pendiente o exposición igualmente posterior a la ponderación logra representar un valor moderado de SvFd, teniendo en cuenta que, ante un evento desencadenante de remociones en masa, como lo serían lluvias de alto mm/hr concentradas en poco tiempo, estos depósitos aun así pueden ser desplazados por el agua.

En **Pendientes** se ponderó a 23% sin cambios respecto a la bibliografía, constituye un elemento relevante como factor considerando que tiene una raíz física vinculada a las remociones en masa, como lo sería la gravedad, a más pendiente más incidencia tiene la gravedad y la energía potencial acumulada en una unidad de suelo. Es la segunda capa con más representación dentro del módulo.

Para **Cobertura Vegetal** se asignó 20% en contraste del 12% de la bibliografía, al igual que con la cobertura de suelos estas capas han pasado por un proceso de corrección y ajuste por fotointerpretación, permitiendo aumentar el detalle y representación a la escala local trabajada. A si mismo los diferentes y extensos usos de cobertura vegetal se vuelven relevantes en esta área de estudio que comprende zonificaciones de parques intercomunales.

La capa de **Exposición** se le asignó 12% al igual que la bibliografía, si bien tenía una representación a 50 cm por en el DTM, para representar marcas de cursos de agua más pequeña no logra resultados precisos, por otra parte, corresponde a un factor ambiental que incide en otras capas a una escala temporal más lenta (años o estaciones), como lo sería la formación de vegetación o las respuestas del suelo a los cambios de temperatura, justificando la representación a 12% respecto a otras capas derivadas del DTM.

Finalmente, la capa **Geología** fue ponderada al 10% respecto al 23% de la bibliografía. Dicha capa presenta dinámicas a escalas más lentas que el resto (de miles a millones de años), y a su vez, está levantada a escala 1:100.000, volviéndola más compleja corregirla debido a que los métodos que se emplean para su creación exceden las capacidades de este proyecto.

El ráster resultante reclasificado permite identificar valores relevantes, los cuales para este estudio serán desde el valor (3,5) a (5), es decir, “Medio alto” a “Muy Alto”. Estos valores fueron cruzados con las zonas PRC/PRMS (Anexos 13 y 14). Para ver el índice no reclasificado consultar anexo 16.

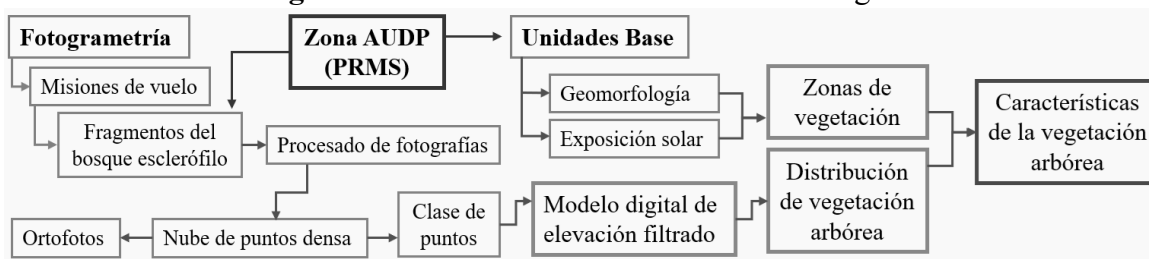
Este proceso permite el cruce de ambas informaciones para el cálculo de áreas en común entre índices y zonas para su interpretación. Se seleccionan datos con 2 condicionantes y da la sumatoria de dicha selección.



## 2.2 Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda.

Se empleó una caracterización de la vegetación presente en la zona AUDP (Figura 11), a través de la identificación y análisis de la **distribución de especies arbóreas y arbustivas** según factores físicos, como la geomorfología y exposición de la zona, mediante técnicas de fotogrametría y procesamiento de información georreferenciada. AUDP destaca por ser la única PRMS urbanizable junto a AU-16H-, pero a esta última se está prohibido el acceso, y a diferencia, la zona AUDP presenta una intervención mayor de suelo por los antecedentes descritos.

**Figura 11.** Resumen de secuencia metodológica.



Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2.1 Identificación de fragmentos del bosque esclerófilo.

Mediante la inspección previa de imágenes satelitales en la plataforma Google Earth a fecha de imágenes del 2023 y, con visitas en terreno durante la práctica profesional en febrero de 2023, se identificaron coberturas vegetales de especies arbóreas de manera continuas, emplazándose una amplia distribución de especies del bosque esclerófilo en la zona AUDP.

#### Selección de fragmentos de bosque esclerófilo.

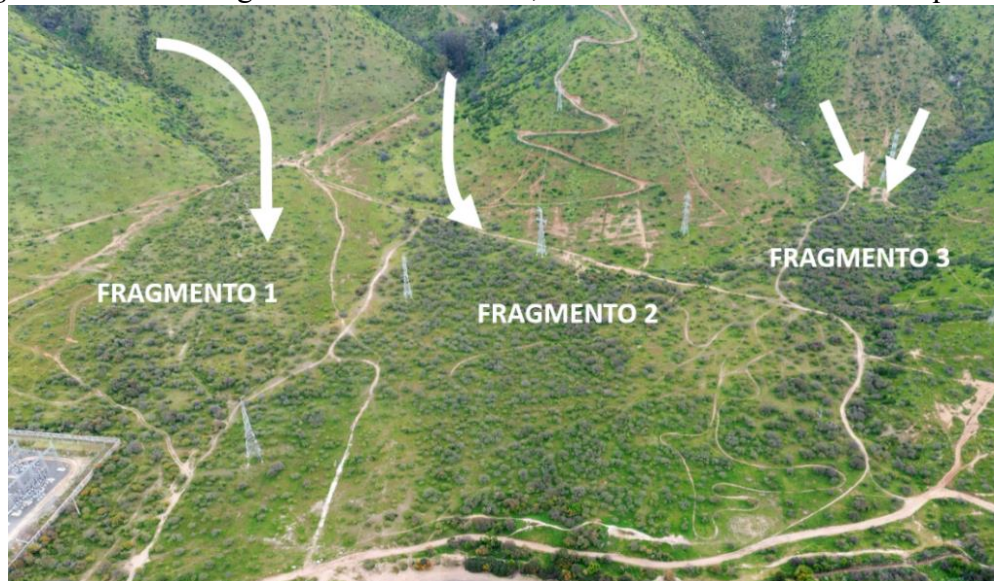
Para corroborar la presencia y definir la extensión de los fragmentos de vegetación que se deben seleccionar y delimitar, se realizó primero una inspección visual en terreno mediante un dron a gran altura, cuya cámara se inclinó 45° para analizar con mejor perspectiva las coberturas vegetales. La extensión y área de los fragmentos a incluir se interpreta desde el punto donde la vegetación se emplaza de manera continua y densa, definiendo su límite o perímetro a partir del punto donde se pierde dicha continuidad de la vegetación (Figura 12 y 13).

**Figura 12.** Ejemplificación de delimitación de fragmento.



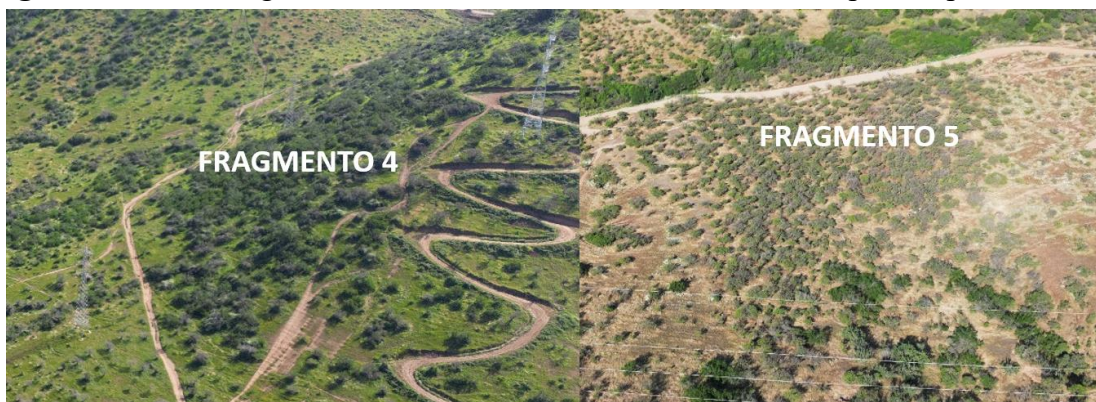
Fuente: Elaboración propia, imagen Google Earth 2023.

**Figura 13.** Tres fragmentos seleccionados, asociados a escurrimiento de quebradas.



Fuente: Fotografía Marco Aliste.

**Figura 14.** Dos fragmentos identificados, asociados a laderas de poca exposición solar.



Fuente: Fotografía Marco Aliste.

En total son cinco las principales áreas o fragmentos de bosque esclerófilo identificados dentro de AUDP. En este caso, se consideran bosques de tierras bajas o planas según Donoso (1982).

Cada área o fragmento se ha asociado a su entorno físico, de esta manera tres se relacionan a zonas de depositación y escurrimiento en quebradas, emplazándose en suelos de composición sedimentaria, y dos se han identificados a laderas de baja exposición solar, en el caso del fragmento cuatro este es de exposición sur y el quinto fragmento de exposición Este.

### 2.2.2 Creación de plan de vuelo fotogramétrico

La elaboración del proceso de fotogrametría se inició con el planeamiento de **5 misiones** de vuelo, 1 asignada a cada fragmento y repartidas en 2 planes de vuelo general (Tabla 12). Las imágenes fueron levantadas por un dron Dji Mavic Mini 3 Pro en el modo 48 megapíxeles con el fin de generar 3 ortomosaicos enfocadas a las coberturas densas de especies del bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP. Las 5 Misiones fueron programadas mediante la plataforma de programación de vuelos Dronelink (Anexo 15).

**Tabla 12.** Resumen del vuelo fotogramétrico.

<b>Fotogrametría a 1.25 cm/píxel en zona AUDP / Fragmentos bosque esclerófilo.</b>					
<b>Plan de Vuelo</b>	<b>Misiones Compuestas</b>	<b>Área total (Ha)</b>	<b>Altura (Mts)</b>	<b>Distancia recorrida (Km)</b>	<b>Nº de Fotografías</b>
<b>Cerro Sombrero</b>	La Antena	7.9	70 Mts	3.3	156
	La Vertiente	8.7	desde el	3.5	167
	El Roquerío	9.0	origen con	3.9	169
<b>Cerro Esmeralda</b>	Nor-Este	3.7	seguimiento	1.4	66
	Sur	4.6	de terreno.	2.0	87

Fuente: Elaboración propia con datos Dronelink.

### **Desafíos fotogramétricos del área de interés.**

Para la programación de las 5 misiones de vuelo descritas se tuvieron que considerar componentes relevantes a sortear de la zona AUDP, para reducir el riesgo de choque y la variación de cm/píxel de la ortofoto final. Se destacan como componentes relevantes los dos siguientes:

#### **A. Torres y tendido de alta tensión construidos:**

Estas estructuras energizadas representan una altura máxima de hasta 48 metros desde el nivel de suelo. Se contabilizaron 9 torres, 2 asociadas a un tendido noroeste a sureste en cerro Esmeralda, y 7 asociadas a un tendido suroeste a noreste en cerro El Sombrero, todas conectadas a la subestación eléctrica ampliada en el proyecto de torres del 2020.

#### **B. Topografía y vegetación:**

La topografía varía considerablemente de altura, desde un mínimo de 192msnm a un máximo

de 258 msnm, se componen las laderas de alta pendiente en ambos cerros, y un terreno amplio único de pendiente inferior a 10°.

Estos componentes justifican la utilización de la función de **seguimiento en terreno** del programador de vuelo, manteniendo una altura fija siempre de 70 metros respecto al suelo y el punto de despegue.

### **Ejecución de plan de vuelo**

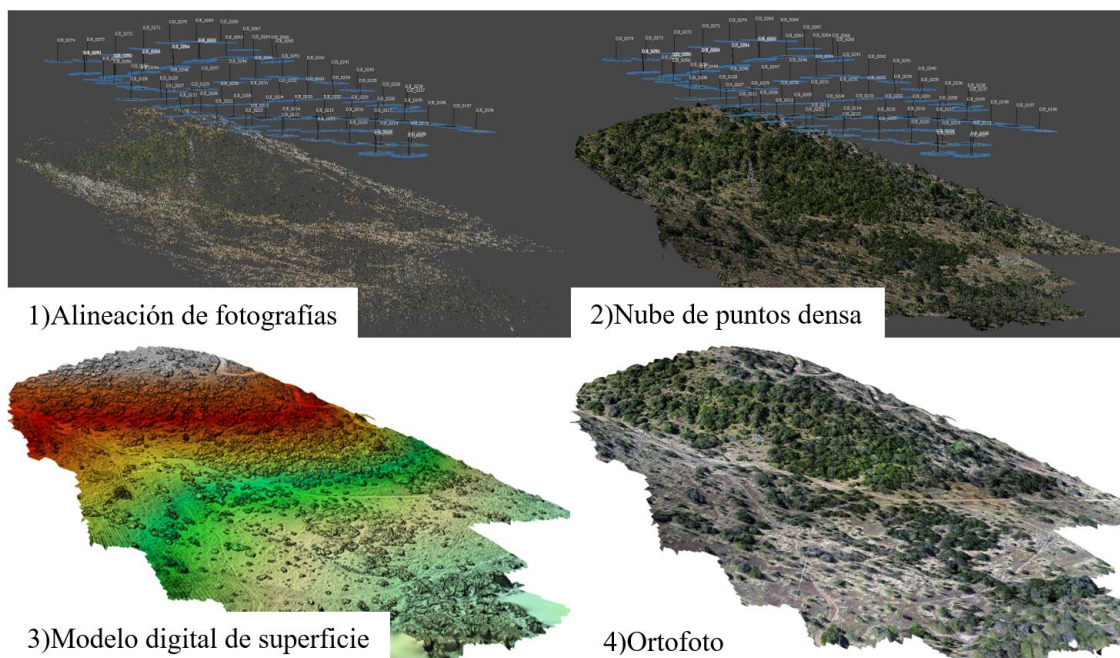
Se llevaron a cabo ambos planes de vuelo la última semana de octubre de 2023 en primavera a las 14:00 horas, la fecha coincide con el afloramiento de especies dentro del bosque, tales como los espinos, manzanilla (*Chamaemelum nobile*) y hierbas, permitiendo la identificación de pisos vegetacionales, doseles o hojarasca. Las **coordenadas de despegue** del plan de vuelo Cerro El Sombrero son 71°14'28"W 33°41'25"S, y las del plan Cerro Esmeralda 71°14'36"W 33°41'20"S.

#### *2.2.3 Procesamiento de imágenes para creación de insumos*

Las imágenes recolectadas se procesaron en el software Agisoft Metashape Profesional para la obtención final de **modelo digital de elevación filtrado** y **ortofotos** del área cubierta por vegetación esclerófila arbórea (Espino, Quillay, Peumo, Litre y especies similares).

Para obtener estos productos, las imágenes recolectadas primero se dividieron en **3 proyectos únicos** en el software: Cerro Sombrero (Misiones *La Antena*, *La Vertiente* y *El Roquerío*, **492** fotos), Sector Norte Esmeralda (Misión *Nor-este*, **66** fotos) y Sector Sur Esmeralda (Misión *Sur*, **87** fotos). Para cada proyecto se creó la **nube de puntos densa** en calidad alta, con filtrado leve y con coloreo de puntos, dicho insumo es la base para generar múltiples productos. Secuencialmente para este fin los pasos para cada proyecto fueron: Alineación de fotografías > Creación de Nube de puntos densa > Creación de Modelo digital de superficie > Creación de ortofoto (Figura 15). De esta manera se permite la creación de 3 ortofotos de alta calidad (una por proyecto) que cubren el área cubierta de la misión del programador de vuelo.

**Figura 15.** Pasos para procesado de imágenes. Ejemplo de proyecto Sur Esmeralda.

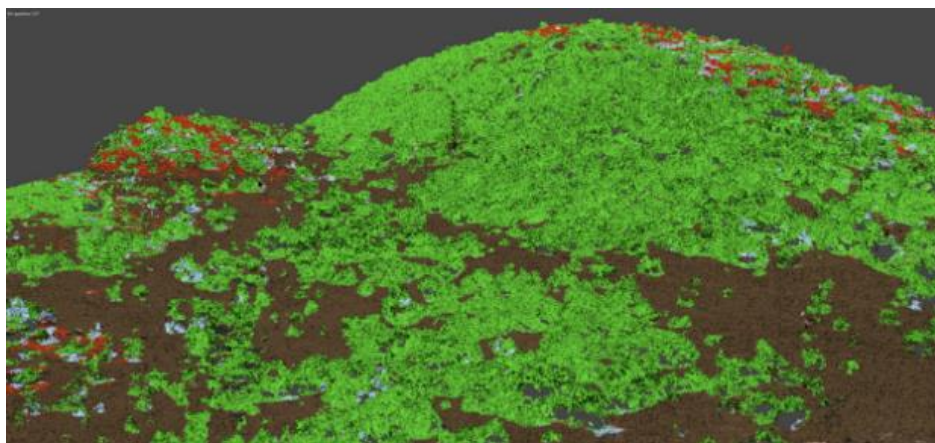


Fuente: Elaboración propia.

### **Post procesamiento y corrección para identificación de fragmentos de bosque esclerófilo.**

Para la caracterización de la vegetación por el lado de la fotogrametría, se empleó un post procesamiento de la nube de puntos densa para poder extraer la **distribución espacial** de la vegetación arbórea de cada misión. Para este fin, una vez elaborada la nube de puntos densa, se empleó la función “**Clasificación de puntos del terreno**” para obtener la “Clase de puntos”, dentro del resultado de la calificación se encuentra “Vegetación alta” que por defecto viene en verde (Figura 16).

**Figura 16.** Ejemplo de vista de puntos clasificados del terreno en Cerro Esmeralda



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la vegetación alta de la nube de puntos densa se procedió a una corrección manual de otras clasificaciones obtenidas que debieron ser consideradas dentro de “Vegetación alta”. Esta corrección se emplea mediante el **análisis paralelo de la nube de puntos densa y la clase puntos** (Figura 17), permitiendo reasignar la clase de los puntos seleccionados manualmente y así disminuir posibles errores de la clasificación de puntos hecha previamente.

**Figura 17.** Identificación de vegetación arbórea mediante análisis paralelo.

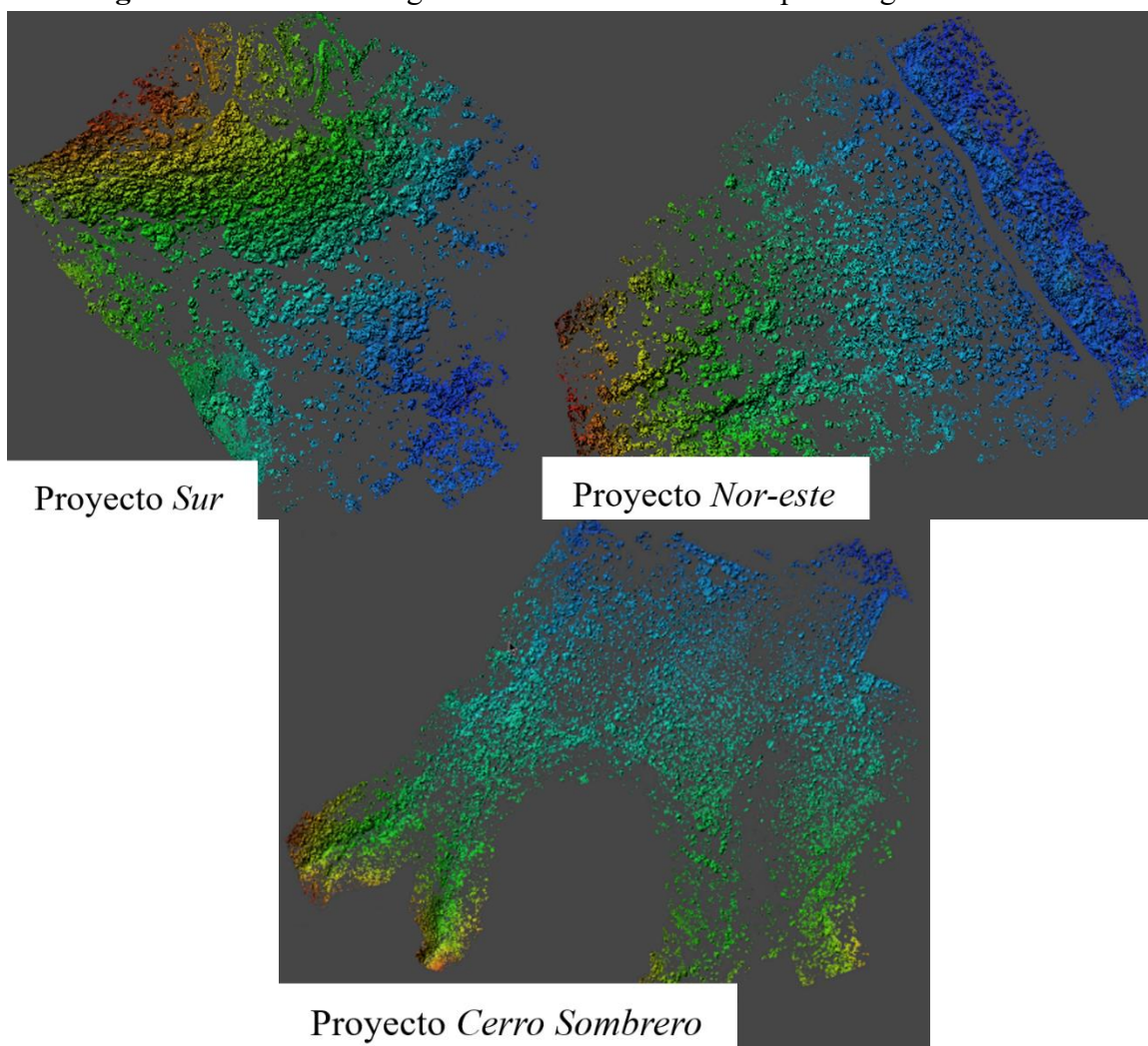


Fuente: Elaboración propia.

### **Extracción de la distribución de la vegetación.**

La clase de puntos corregida por vegetación alta funciona como un catastro de toda la vegetación arbórea y arbustiva existente, permite identificar la distribución y densidad interna de los grandes parches vegetacionales seleccionados para este proyecto. Estos valores de distribución se pueden extraer mediante la creación de un modelo digital que incluye solo los puntos de la clasificación “Vegetación Alta”. Este producto generado se le dio el nombre de **Modelo digital de elevación filtrado** (Figura 18). Es un Tiff reclasificable que puede ser vectorizado.

**Figura 18.** Modelos digitales de elevación filtrados por “Vegetación Alta”.



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.4 Delimitación de unidades geomorfológicas y exposición solar.

Para caracterizar más detalladamente la distribución de la vegetación arbórea se asoció dicha distribución a las características propias del terreno donde se emplazan los fragmentos procesados, de esta manera se incorporaron dos variables: la **exposición solar** y la **geomorfología** ambas de la zona AUDP. Para la delimitación de las unidades geomorfológicas y de exposición solar se ha reutilizado el insumo Modelo digital de terreno (DTM) a 50 **cm/píxel** formato Tiff, usado previamente.

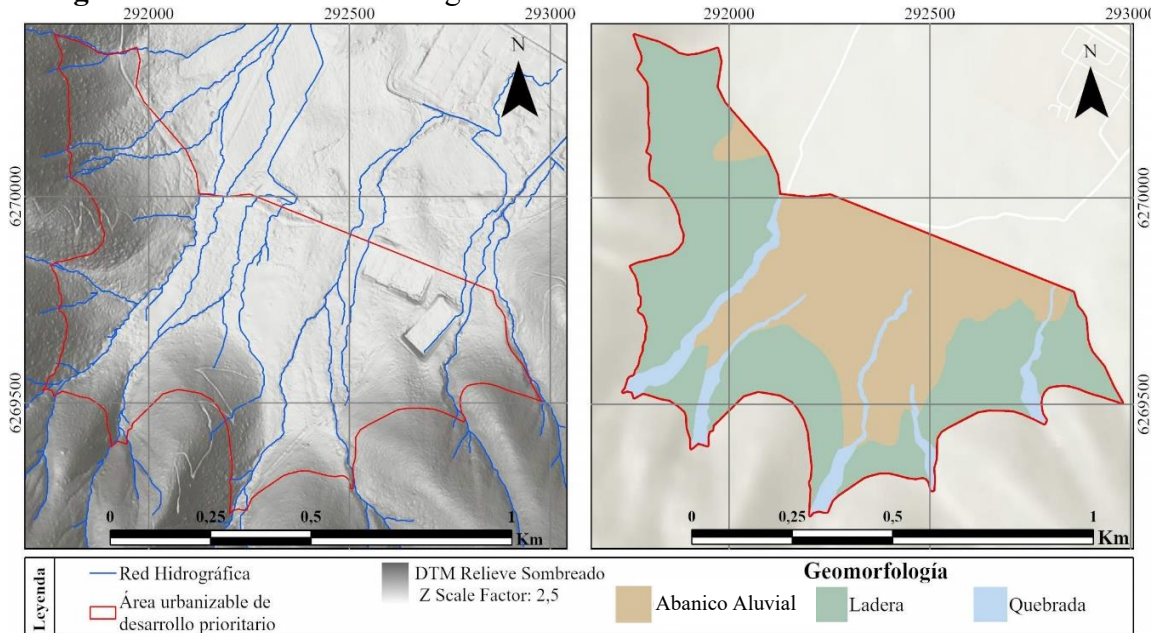
La delimitación de las **geoformas** del terreno se efectuó mediante la inspección visual del modelo digital de terreno representado en modo **relieve sombreado** de ArcGIS Pro (Figura 19). Se crearon 3 clases diferentes de geomorfología dentro de AUDP (Tabla 13), debido a su emplazamiento entre cerro Sombrero y cerro Esmeralda, se definen por las características de su ambiente geológico las siguientes unidades:

**Tabla 13.** Unidades para caracterizar

Geomorfología	Características
Abanico Aluvial	Ambiente coluvial y depósito sedimentario, de bloques a arcilla.
Ladera	Estructura de cerros isla. Unidad plutónica Jlt.
Quebrada	Depresión del suelo por erosión hídrica, depositación de arenas.

Fuente: Elaboración propia con datos de la carta geológica de (Wall Z, et al. 1996).

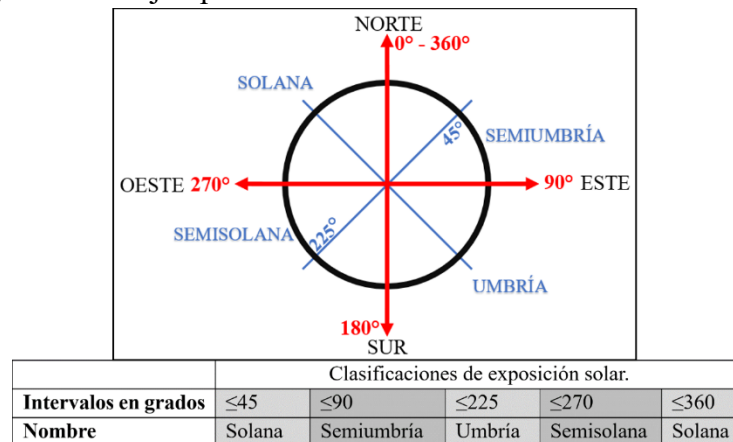
**Figura 19.** Identificación de geoformas mediante análisis de relieve sombreado.



Fuente: Elaboración propia.

Para crear las 4 unidades de exposición solar se establecieron 5 intervalos para completar 4 orientaciones en los 360° grados del espectro cardinal (Figura 20 y 21). Se omitieron los valores planos al ser casi nulos en toda el área, se buscar identificar áreas homogéneas y amplias.

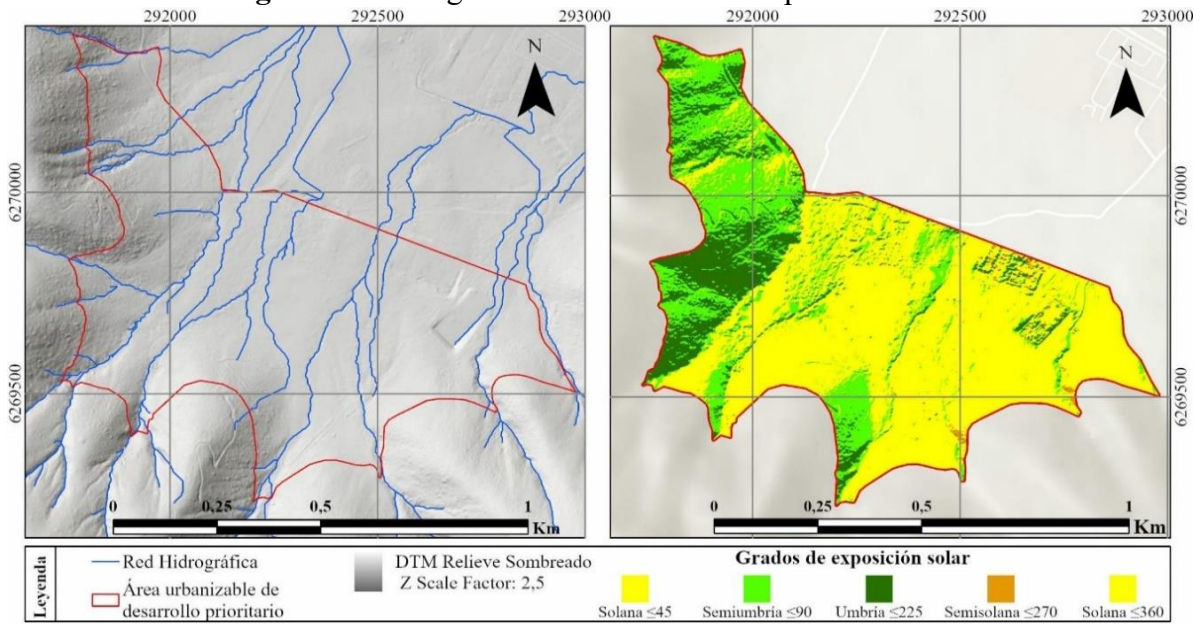
**Figura 20.** Ejemplificación de orientación de laderas usadas.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 21.** Asignación de unidades de exposición solar.

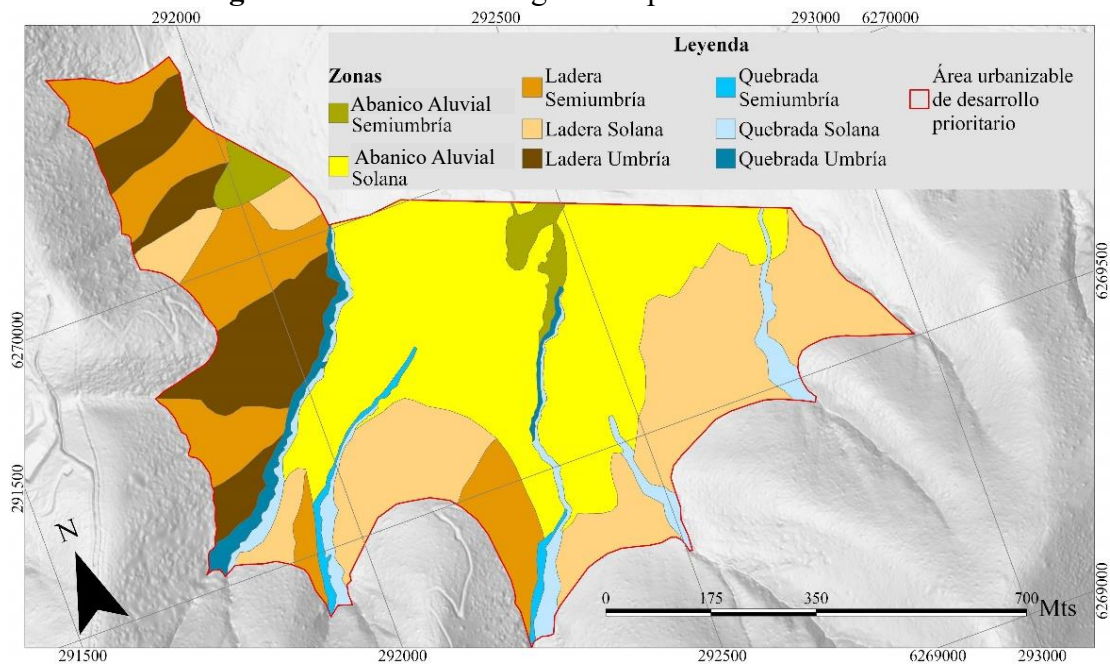


Fuente: Elaboración propia.

### Áreas de emplazamiento de vegetación arbórea y arbustiva.

Las características espaciales están dadas por las áreas en común resultantes de la **intersección** entre las unidades geomorfológicas y de exposición solar (Figura 22). La intersección generó 8 unidades únicas, por otro lado, los valores Semisolana se omitieron al ser casi nulos respecto al resto de la muestra.

**Figura 22.** Zonas de vegetación para caracterización



Fuente: Elaboración propia.

Así la intersección resultante se homogenizo en grandes áreas para la corrección de polígonos pequeños, entregando las siguientes zonas de vegetación: **Abanico Aluvial Solana, Abanico Aluvial Semiumbría, Ladera Solana, Ladera Semiumbría, Ladera Umbría, Quebrada Solana, Quebrada Semiumbría y Quebrada Umbría.**

### **2.3 Delimitar zonas Z-R-1 y Z-R-5 en la zonificación AUDP, actualizado en base a riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda**

Se ha incorporado para la delimitación de ambas zonas el resultado del objetivo 1 (Índice SvFd) y el resultado del objetivo 2 (Vegetación arbórea caracterizada).

#### *2.3.1 Delimitación de nueva Z-R-1 en AUDP respecto zonas de restricción por alto riesgo para asentamientos humanos.*

Basado en el estudio de susceptibilidad a remociones en masa para la cuenca del río Copiapó (Fernandez H. & Espinoza C., 2022) se consideró la red hidrográfica del área de estudio como principal elemento **transportador de sedimentos relacionado a la susceptibilidad de generación de flujos** de esta área, basado en el modelo digital de terreno a 50 cm/píxel se generó esta red hidrográfica como insumo para identificar escurrimiento hidrográfico.

Para la delimitación se efectuó un buffer en la red hidrográfica **diferenciada y seleccionada** por cauces que **drenan o atraviesan sectores donde hay presencia de índice SvFd** (figura 23). Este proceso se emplea a modo de extraer perímetros o área de influencia de escurrimientos que transportan sedimentos.

Debido a las variadas figuras de protección del área de ribereña (o de drenaje) según Romero et al, (2014) (Tabla 14) se consideró establecer un valor de buffer desde el fondo de quebrada, entre el ancho actual de Z-R-1 del plano regulador comunal (10 metros por lado) y el ancho máximo posible de la protección de la zona ribereña (20 metros por lado). Al no haber un criterio de como zonificar para este contexto en particular, se estableció un buffer de 20 metros a cada lado, al considerar que esta zona ribereña en particular **presenta amplias zonas de índice SvFd** de valor medio alto, alto y muy alto, y que están relacionadas a episodios aluvionales previos. Aumentar de 10 a 20 metros en este caso permite incorporar una zona de amortiguamiento ecológico para los sedimentos encausados (Romero et al, 2014).

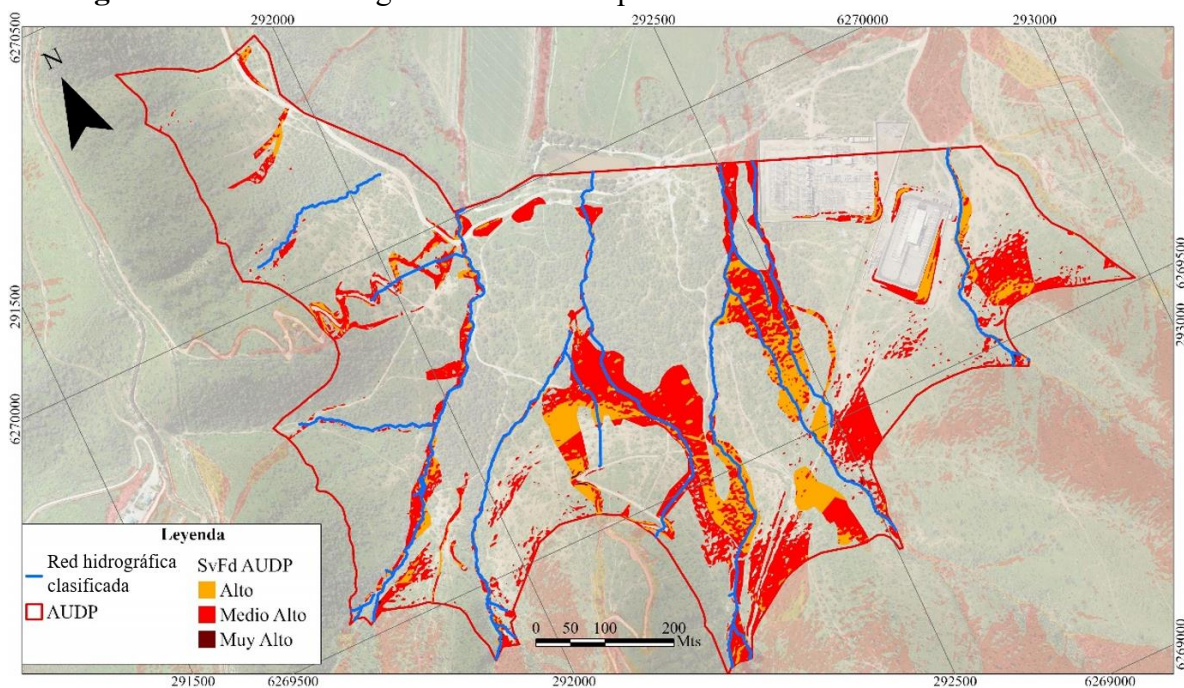
**Tabla 14.** Áreas evaluadas para buffer.

<b>Criterios analizados</b>	<b>Buffer por lado</b>
Plano Regulador Comunal de Melipilla, Z-R-1 (1988)	<b>10</b> metros
Zona Exclusión	<b>5</b> metros
Ancho mínimo de las franjas de protección en cursos de agua no permanentes en bosques siempreverdes	<b>10 a 20</b> metros
Zona de protección de manejo limitado	<b>20</b> metros

Fuente: Elaboración propia en base a Romero et al, (2014).

De esta manera, para estos afluentes se empleó un buffer de 20 metros a cada lado para la delimitación de un ancho máximo de 40 metros.

**Figura 23.** Red Hidrográfica clasificada por relación con zonas con índice SvFd.



Fuente: Elaboración propia.

Las zonas resultantes se emplazaron con las áreas resultantes del siguiente punto respecto a la vegetación, con el fin de generar un plano conjunto con Z-R-1 y Z-R-5 potenciales para AUDP.

### 2.3.2 Delimitación de nueva Z-R-5 en AUDP respecto a zonas de Preservación del Medio Ambiente.

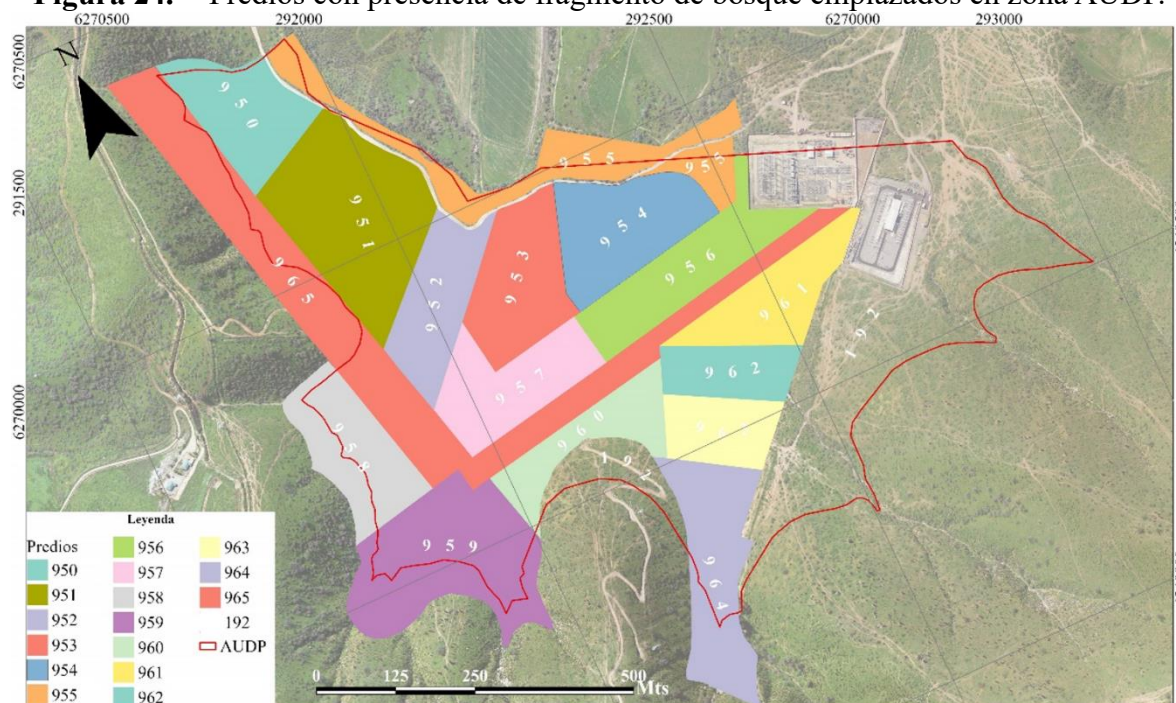
Para la delimitación se hizo una evaluación de los resultados del objetivo 2 para estimar cuales son las áreas más importantes de conservación dadas las características y dinámicas comprendidas con la vegetación arbórea, relacionada a su **distribución y densidad** según estipula la ley 20.283 respecto a la **clasificación y conservación de bosques nativos**. En este sentido, el área de estudio se emplaza en una zona climática de carácter **mediterráneo de lluvia invernal** (Sarricolea et al, 2017) por lo cual el parámetro para definir características de bosque se dará sobre la cobertura superior del 25%, calificado como clima favorable según la ley respecto a la clasificación de bosques según densidad.

Se discriminó por parches vegetacionales en función de su distribución sobre unidades de rol predial en la zona AUDP, todos los roles son de destino agrícola (SII, 2024) basado en el servicio de impuestos internos actualizado a 2024 (Figura 24). Al ser terrenos de propiedad

privada, el manejo, ya sea tala o la solicitud de subsidios para conservación de bosques queda en responsabilidad del dueño del predio, siendo la unidad más práctica en la actualidad para un futuro manejo o protección.

De esta manera las unidades base para cruzar son: los predios numerados desde el 950 al 965, omitiendo el n° 192 al comprender un área significativamente mayor y que se proyecta más allá de la zona AUDP; y la vegetación arbórea del objetivo 2, sin ajustar a la zona AUDP al igual que los predios, que tampoco se ajustan a esta zona.

**Figura 24.** Predios con presencia de fragmento de bosque emplazados en zona AUDP.



Fuente: Elaboración propia con datos [www.sii.cl](http://www.sii.cl) , Cartografía Digital SII Mapas (2024).

Las potenciales zonas Z-R-5 comprenderán los predios que califiquen con una densidad de bosque superior a lo descrito por la ley, se evaluará que tan pertinente es el emplazamiento y si es que puede proyectarse más allá del área según la distribución de la vegetación arbórea y arbustiva.

## CAPITULO 3: RESULTADOS

### 3.1 Identificar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a Erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda mediante elaboración de índice SvFd.

#### 3.1.1 *Análisis de índice SvFd por capas*

A continuación se describe como se distribuye el índice SvFd en cada una de las 5 capas creadas previo a ponderar (Figura 25).

#### **A. Exposición:**

El área de estudio abarca en su mayoría laderas nor-poniente, norte y nor-oriente del cerro El Sombrero, para el caso de cerro Esmeralda abarca también laderas orientadas al sur y sur-poniente, las cuales gozan de especies nativas de renoval descritas anteriormente. Las exposiciones con orientación al norte fueron las clasificadas con los valores más altos del índice que en su mayoría se orientan hacia la ciudad de Melipilla.

Para los cerros, la mitad poniente de cerro El Sombrero presenta valores altos de SvFd, emplazándose en cercanías de suelos ya urbanizados y suelos urbanizables como AUDP.

El sector AUDP también representa valores “Alto” y “Muy Alto” de índices SvFd por exposición en gran parte de su emplazamiento, a excepción el área compuesta por cerro Esmeralda en sus laderas oriente y sur oriente, con valores “Bajos” y “Muy Bajos”.

Se destaca una distribución heterogénea del índice SvFd entre ambos cerros.

#### **B. Vegetación:**

Respecto a la vegetación, el mayor tipo de cobertura presente en el área de estudio corresponde al Matorral Muy Abierto (SvFd “Muy Alto”), distribuido en el sector centro norte de las unidades cerro El Sombrero y cerro Esmeralda, le siguen Matorral Abierto y Semidenso (SvFd “Alto”) y en menor medida coberturas de Matorral Arborescente Abierto y Semidenso (SvFd “Bajo”) junto a Renoval Muy Abierto (SvFd “Moderado”) para el sector poniente de cerro Esmeralda. Dentro de estas coberturas arborescentes y renovales se encuentran especies como Litre, Quillay y Maitén.

Por otro lado, la especie con mayor presencia en el área de estudio comprende a *Vachelia Caven* conocida como acacia o espino, abarcando la totalidad de las coberturas vegetales trabajadas (CONAF, 2013) y siendo la especie mayoritaria en las coberturas asociadas a la zona AUDP. Para esta zonificación se encuentran solo valores SvFd “Alto” y “Muy Alto” producto de la falta de variedad de especies arbóreas.

Finalmente, cerro El Sombrero al oriente posee una amplia cobertura de Renoval Semidenso y Matorral Arborescente Semidenso de SvFd “Bajo”, a su vez se considera el tipo de esta

cobertura más cercana a sectores urbanizados, elemento importante si se considera la implementación final de un parque comunal con reforestación en el área AV-PM.

Se destaca una predominancia de valores altos de índice SvFd para toda el área de estudio, infiriendo una cobertura vegetal del bosque esclerófilo en un estado de degradación.

### **C. Suelos**

La distribución de valor “Moderado” de SvFd comprende casi la totalidad del área de estudio, por otra parte, el valor “Muy Alto” de la clasificación para fotointerpretación se emplaza de manera dispersa a lo largo del área de estudio, desde los cerros hasta cercanías de sectores ya urbanizados, representando sectores puntuales en su mayoría con forma alargada proyectadas desde los ambos cerros pendiente abajo.

Para la zona AUDP también se emplazan estos hitos de valor “Muy Alto”. Abarcan y cruzan principalmente el borde sur de esta zonificación, algunos proyectados desde casi la divisoria de cerro El Sombrero, y en mucho menor medida desde cerro Esmeralda.

Se destaca la gran cantidad de hitos asociados a fondos de quebrada y erosión de ladera a lo largo de cerro El Sombrero.

### **D. Pendientes:**

La mayoría del área de estudio posee valor “Muy Bajo” incluyendo la mayoría de los suelos urbanizados. Los valores “Moderado” y “Muy Alto” se emplazan a lo largo de ambos cerros, proyectados desde sus divisorias hasta la pérdida de pendiente, con predominancia de valores “Muy Alto” dado a que ambos cerros poseen pendientes muy pronunciadas en casi todo su conjunto de cerro isla, manifestando una diferencia de altura súbita relevante respecto a la ciudad de Melipilla (Figura 25).

La zona AUDP posee en su contorno sur una vasta área de valor SvFd “Moderado”, cabe destacar que, aun así, la proyección de estas laderas hacia arriba entrega valores “Moderado” a “Muy Alto”.

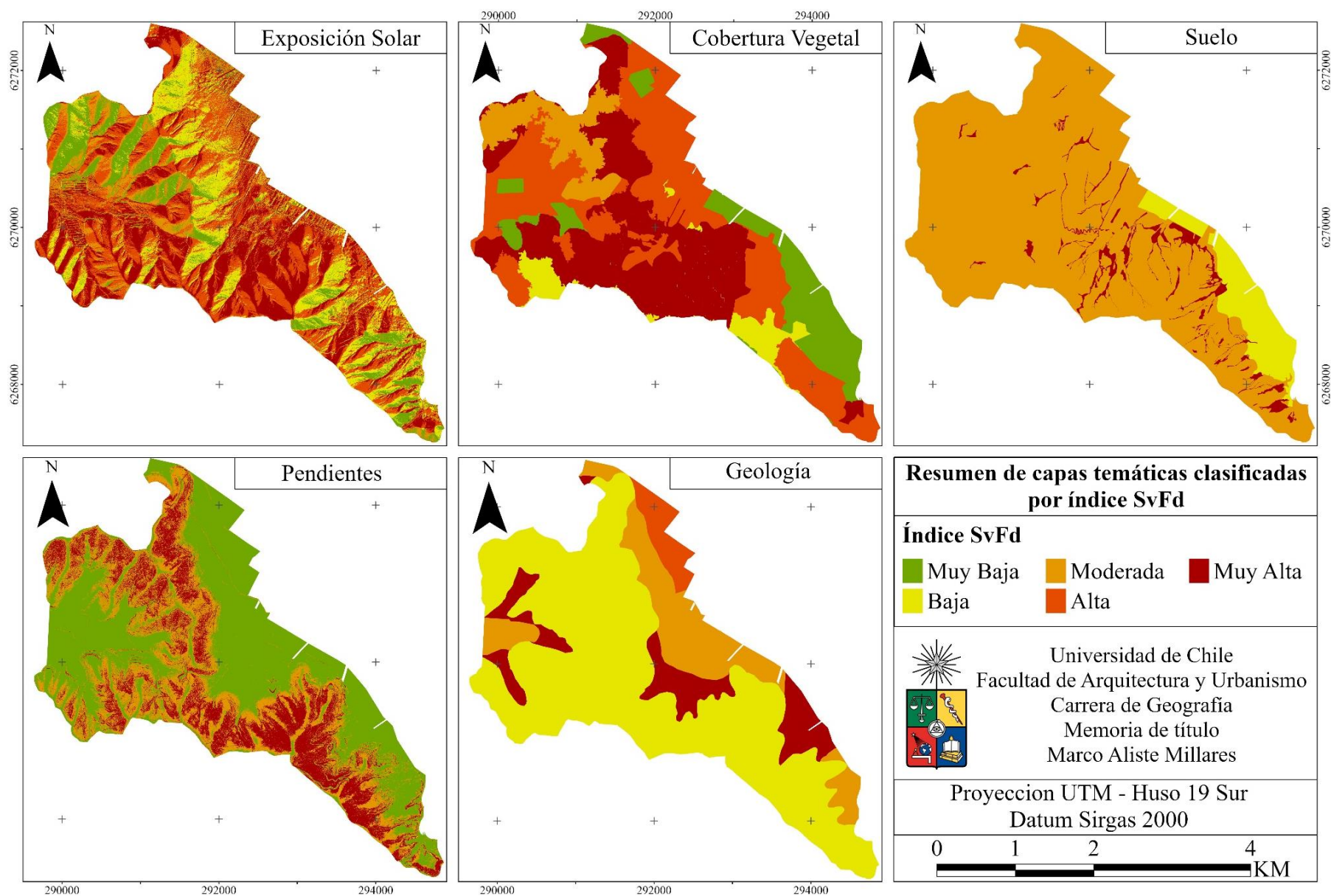
Los valores se distribuyen de manera muy similar entre ambos cerros.

### **E. Geología**

La distribución de valores “Muy Alto” solo se encuentran en unidades geológicas asociadas a sedimentación de abanicos aluviales **Qc**, emplazadas en zonas basales de la unidad **Jlt**, para ambos cerros se generaliza un valor “Bajo” de SvFd casi para la totalidad del área de estudio.

Hay que destacar que la zona AUDP se emplaza en casi su totalidad sobre la unidad **Qc** (Anexo 3), al igual que otros suelos ya urbanizados como Z-4 y Z-5 en el área oriente de cerro El Sombrero.

**Figura 25.** Resumen de capas temáticas clasificadas por índice.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Análisis de ponderación de capas

Los resultados del cruce de la información que se presentan en la tabla 15, resume zonificaciones y el índice de susceptibilidad de remociones en masa ya reclasificado con susceptibilidad desde “Medio Alto” a “Muy Alto” (Valores desde 3,5 a 5).

**Tabla 15.** Tabla resumen de zonificaciones con presencia de alto índice SvFd.

Índice SvFd		Zonificaciones									
		AU-16H	AUDP Sur	AV	AV-PM	Z-4	Z-5	Z-R-1	Z-R-3	Z-R-4	Z-R-5
Medio Alto (3,5 - 3,99)	Hectáreas (Ha)	2,589	9,043	0,008	47,547	1,864	0,375	0,276	0,001	0,008	8,465
Alto (4 - 4,49)		0,450	3,423	0,000	8,567	0,083	0,022	0,019	0,000	0,000	1,175
Muy Alto (4,5 - 5)		0,028	0,044	0,000	1,214	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,029
Total área SvFd por instrumento		3,067	12,510	0,008	57,328	1,951	0,397	0,297	0,001	0,008	9,669

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de ArcGIS Pro y procesados en Excel.

Mediante el cruce de información de zonas y áreas donde se emplaza un índice SvFd relevante, se extrae que la zona que presenta la mayor distribución SvFd comprende a la zonificación PRMS **AV-PM** (Área verde para parque intercomunal) sumando un total de 57,328 Ha, área de la cual el 82,94% representa valores “Medio Alto”, de estos valores se evidencia una distribución mayoritariamente en las laderas de exposición norte de cerro El Sombrero derivadas de la cota máxima del cerro isla. Se evidencian dentro de AV-PM que cerro Esmeralda solo presenta el conjunto de valores SvFd en quebradas y en taludes sin estabilizar.

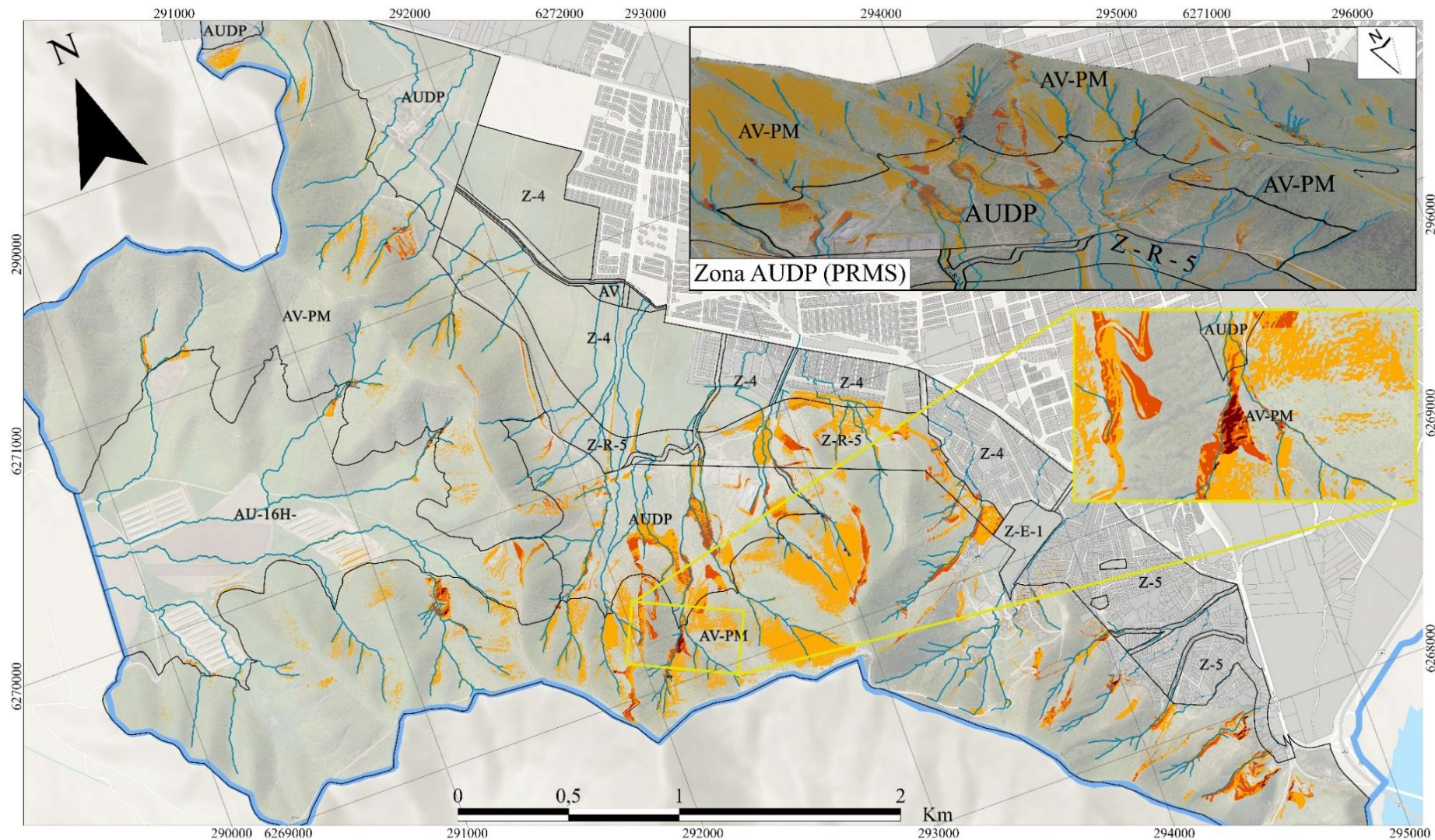
En segundo lugar, respecto a hectáreas totales se encuentra la zona PRMS **AUDP** (Área urbanizable de desarrollo prioritario) con total de 12,510 Ha donde también hay una presencia mayoritaria de valores “Medio Alto” pero con una representación del 72,29 %, y una la distribución de valores “Alto” de 27,36% ambos del total de área SvFd. Para esta zonificación el índice SvFd representa un 18,83% de su área.

Las zonificaciones Z-R-5 (Preservación del medio ambiente natural) suman 9,67 Ha de índice SvFd que representan el 18,77% del total de estas zonas, comprendiendo el único tipo de zonificación del plano regulador comunal dentro del área de estudio que no se puede urbanizar.

En relación con esta amenaza geofísica, se ha demostrado que los procesos de remoción en masa y aluvionales no son solo exclusivos de grandes cuencas a nivel regional, si no que estos procesos a escalas locales (como en cerros isla) expresan un mismo comportamiento de origen respecto a otros contextos físicos similares. La estimación del índice con las ponderaciones elegidas da como resultado la evidencia de suelos propensos a remociones en masa, **pero potenciados en menor o mayor medida por el resto condicionantes de base como la pendiente, exposición solar, cobertura vegetal y geología** (Figura 26).




**Figura 26.** Distribución del índice SvFd en área de estudio y detalle en zona AUDP.



Índice de susceptibilidad a remociones en masa para zonificaciones PRCM/PRMS dentro del límite de extensión urbana. Comuna y ciudad de Melipilla

1:5500 (A0)  
Proyección UTM - Huso 19 Sur - Datum SIRGAS 2000


 Universidad de Chile  
 Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
 Carrera de Geografía  
 Memoria de Título  
 Marco Aliste Millares

Leyenda	
<p>Índice SvFd reclasificado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> Medio Alto (3.5 - 3.99)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> Alto (4 - 4.49)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkred; border: 1px solid black;"></span> Muy Alto (4.5 - 5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid blue;"></span> Red Hidrografica</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightgrey; border: 1px solid black;"></span> División Predial Urbana</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 2px solid blue;"></span> Limite de Extencion Urbana (PRMS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Zonas PRC/PRMS</li> </ul>

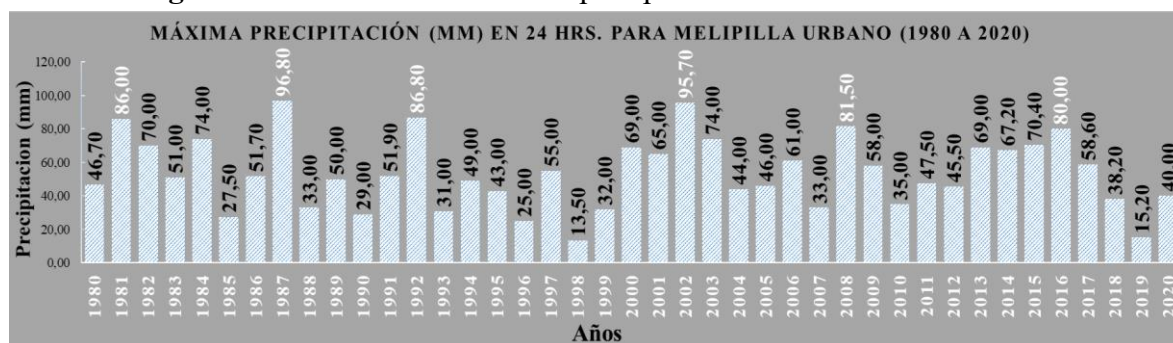
Fuente: Elaboración propia.

La distribución del índice SvFd muestra que cerro El Sombrero y cerro Esmeralda reúnen una extensión relevante de las condicionantes de base, que en esta área de estudio si propician la generación continua de sedimentos, es decir que, si es pertinente la probabilidad de ocurrencia de remociones en masa, concentradas más severamente en cerro El Sombrero. Según el análisis de la figura 26 se evidencia una concentración de valores “Muy Alto” de todas las capas en el centro sur del área de estudio, entre AUDP y AV-PM.

Si se analizan estos resultados desde una perspectiva más sistémica y relacional, se torna relevante qué situación se puede proyectar tomando en cuenta otro factor como la red hidrográfica del área de estudio. Esta red nace desde las divisorias de agua de ambos cerros, y en el caso del área con más índice SvFd descrita, esta red drena las aguas hacia todas las zonificaciones en dirección norte y nor-oriental del cerro El Sombrero. Por consiguiente, se estima que no tan solo existe material generado de manera continua sobre estas áreas relevantes, sino que, también todo este contenido es encausado hacia las zonificaciones adyacentes, en menor medida a Z-5 en el sector oriente, y en mucha mayor medida a AUDP y Z-R-5 en dirección norte (Figura 26). Esto se puede deber a que a nivel litológico AUDP es una zona que ya está establecida sobre suelo sedimentario de origen coluvial por depositaciones históricas de flujos provenientes de ambos cerros, que, si bien estos procesos en la actualidad se han ralentizado, los sedimentos nuevos siguen escurriendo por sobre AUDP tal lo constatado en terreno y durante la fotointerpretación de suelos, infiriéndose que los procesos sedimentarios están funcionando a un ritmo y escala más reducida por las condiciones climáticas actuales de la zona central del país, respecto a la periodicidad y magnitud de las lluvias.

Por otra parte, si se agrega y estima el comportamiento de la red hidrográfica respecto a eventos pluviométricos de gran intensidad, este material no consolidado podría ser transportado de una manera más rápida y peligrosa por lluvias concentradas en cortos periodos horarios. Cabe destacar que el evento aluvional de junio de 2020 fue provocado por un máximo de lluvia en 24hrs de 40mm (Figura 27).

**Figura 27.** Gráfico histórico de precipitaciones máximas en 24 horas.



Fuente: Elaboración propia con datos DGA.

Si bien los mm se pueden considerar normales para el régimen climático, el aumento de la sensibilidad del suelo por intervenciones antrópicas en zonas de alto índice SvFd, como en

ese evento, puede funcionar como catalizador a la hora de generar sedimento disponible para una remoción. En este sentido hay que considerar que el periodo de retorno de la figura 27 comprende un máximo histórico de 95,70 mm en 40 años, más del doble que en el evento mencionado.

Finalmente se infiere que según como se ejecuten actividades dentro de las áreas resultantes con índice SvFd, puede presentarse un cambio de contexto relacionado a la exposición de la población a la amenaza de remociones en masa. La configuración actual de las zonificaciones da la evidencia de que ya **existe una configuración de exposición a futuro**, principalmente porque **la zona AUDP permite dentro de su uso permitido una densidad habitacional máxima de 160 habitantes por hectárea** (MINVU, 2007) posibilitando sobre las áreas resultantes un máximo de 2001 habitantes en zonas de con índice SvFd (ver tabla 15), en consecuencia, urbanizar en zonas con probabilidad de ocurrencia de procesos de remociones en masa, aumentando la exposición a la amenaza y, por consiguiente, un aumento de la vulnerabilidad de la población.

### 3.1.3 *Análisis de hitos relevantes en terreno.*

En terreno se evidencio hitos relevantes a las capas levantadas, los cuales se resumen a continuación:

Respecto a vegetación y suelos se destaca que en zonas de Matorral Abierto y Semidenso se encontraron zonas con alta concentración de arenas (Figura 28), infiriendo que se encuentran distintos tipos de suelos debajo de las coberturas vegetales similares (Anexo 12), pudiendo contrastar con la tendencia de que a más densidad de cobertura vegetal más estable es el suelo.

**Figura 28.** Coberturas M. Abierto y Semidenso. Especies rodeadas arenas.



Fuente: Fotografía propia. Cerro El Sombrero.

En el aspecto geológico relacionado a pendientes, en laderas moderadamente escarpadas entre 35° a 55° se evidenciaron afloramientos rocosos de la unidad Jlt (Figura 29) en sectores con valor SvFd “Muy Alto” por exposición solar, pendientes, suelos y cobertura vegetal. Procesos como la fractura de la roca en Jlt representa una amenaza constante debido a que al ocurrir la fractura en pendientes escarpadas esta puede hacer ceder al macizo rocoso y provocar caída de bloques, acumulando gran velocidad debido a la alta pendiente. Estos

procesos pueden verse acelerados también por sismos.

**Figura 29.** Afloramiento rocoso en ladera moderadamente escarpada, cerro El Sombrero.



Fuente: Fotografía propia. Cerro El Sombrero.

En sectores cercanos a quebradas y de pendiente menor a  $10^\circ$  se encuentra una alta cantidad y variedad granulométrica sumado a una alta pedregosidad (Figura 30), coincidiendo en sectores donde ocurren procesos de sedimentación por la red hidrográfica, en línea con la carta geológica (zona Qc Anexo n°4).

**Figura 30.** Fondo de quebrada en zona AUDP.



Fuente: Fotografía propia. Cerro El Sombrero.

Analizando la inspección y presencia de hitos de suelos, los más relevantes corresponden a la erosión presente en taludes no estabilizados, donde se evidencian procesos aun activos de pérdida de suelo a diferentes magnitudes, dentro de los más severos se encuentran; las cárcavas en laderas y taludes; y retrocesos de escarpes en ladera donde se evidencia la pérdida de los primeros horizontes del suelo (figura 31 y 32). Los hitos tendieron a estar cerca de lo que fueron las faenas de instalación de torres del último megaproyecto de líneas de transmisión de alta tensión, llevado a cabo mediante la creación de caminos sinuosos en laderas para el transporte de maquinaria (Figura 31). Los hitos registrados se presentan tanto en AV-PM y AUDP.

Por otro lado, se evidencio que en sectores de pendientes sobre 25° procesos de erosión de laderas y suelos eran más recurrentes (Figura 31), en estas zonas el factor gravedad es el principal transportador de sedimentos ladera abajo.

**Figura 31.** Retroceso de escarpe con afloramiento rocoso. Suelo de poca profundidad.



Fuente: Fotografía propia. Cerro Esmeralda.

**Figura 32.** Talud en ladera de exposición norte.



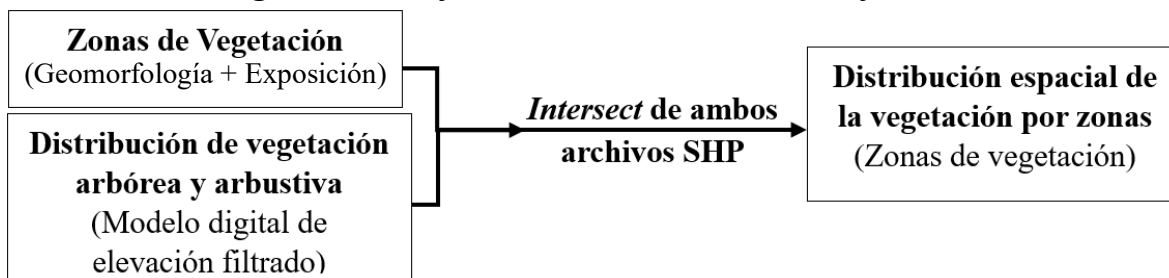
Fuente: Fotografía propia. Marco Aliste.

Se estima que, de no mejorar el estándar ambiental a la hora de intervenir laderas y quebradas, las instalaciones de nuevas líneas de alta tensión proyectadas en AUDP y AV-PM, como lo es “Nueva Línea 2x220 Nueva Alto Melipilla - Nueva Casablanca - La Pólvora - Agua Santa” con RCA aprobado (SEIA, 2023), podrían generar nuevos hitos de suelos sensibles a remociones en masa en el área de estudio.

### 3.2 Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda.

Respecto al análisis de los resultados obtenidos del cruce de datos mediante *Intersect* de los productos **Zonas de vegetación** y **Distribución de vegetación arbórea**, se extrajo la **distribución espacial de la vegetación clasificada** (Figura 33).

**Figura 33.** Flujo de extracción de resultados objetivo 2.



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se consta del producto final que permite comprender, mediante sus características, como son los fragmentos identificados en terreno.

#### 3.2.1 Caracterización de distribución la vegetación arbórea por exposición.

Al identificar las características de los fragmentos por exposición se evidencia que:

La densidad del fragmento tiende a ser más uniforme a medida que se presentan **exposiciones asociadas a la sombra como Semiumbría y Umbría** dentro del área de estudio (Figura 34), es decir, que la cobertura arbórea y arbustiva asociada a orientaciones sur presentan una distribución continua y de mayor proximidad, entendiéndose que para **zonas que reciben menor radiación solar la dispersión o fragmentación del grupo de árboles es menor**.

Dentro de la muestra se destaca, bajo esta observación de características por exposición, al fragmento Sur en cerro Esmeralda relacionado a la misión Sur (anexo 15), en cual concentra el área más densa respecto a los otros fragmentos, también destaca la zona más alta y de mayor sombra de la quebrada que se encuentra más al poniente en cerro El Sombrero relacionado a la misión El Roquerío (anexo 15) (Figura 34).

Por otro lado, **en exposiciones asociadas a Solanas**, la densidad de las especies tiende a ser menor, sin llegar a generar ningún parche con la misma extensión y continuidad que el presente en la misión Sur. Aun así, se identifica un **gran parche solana** de amplia extensión relacionado a las misiones La Antena, El Roquerío y La Vertiente, este parche posee una variabilidad amplia de densidades en su extensión, destacando sectores densos en el sector al lado de la subestación eléctrica y los sectores específicos cercanos a la red hidrográfica.

Cabe destacar que el fragmento asociado a la misión Nor-este en cerro Esmeralda presenta una distribución de densidades casi uniforme, con variaciones mínimas. Se puede inferir que la poca exposición solar permite una mejor retención de la humedad permitiendo que algunas especies presenten copas y doseles más amplios, propiciando a que especies asociadas vayan cubriendo los espacios disponibles entre especie y especie, dotando al fragmento de una continuidad de copas de árboles, y de esta manera, el mismo parche vegetacional aumenta internamente la cantidad de sombra disponible.

### *3.2.2 Caracterización de distribución la vegetación arbórea y arbustiva por geoformas.*

La caracterización entre geoformas evidencia que la distribución de la vegetación y densidad difiere mucho entre laderas, abanicos aluviales y quebradas. Así por ejemplos entre las 2 laderas de cerro Esmeralda se encuentran densidades y tamaños de copas de árboles y arbustos muy diferentes, así como también para las laderas de cerro El Sombrero.

Ante esta situación se puede inferir que, sumado a la diferenciación de vegetación por exposición solar, la diferenciación en geoformas no está dada por la forma en sí, si no por el contexto hídrico asociado a la geoforma, es decir, **a su relación con la red hidrográfica** del área de estudio.

De esta manera, la **proyección de la red hidrográfica** a través de los 3 distintos tipos de geoformas genera una **variabilidad en la dispersión de árboles y arbustos**, el ejemplo más claro es en las zonas de abanicos aluviales, donde la densidad de árboles aumenta en cercanías a la red hidrográfica. Para este caso se puede deducir que el emplazamiento en las zonas de abanicos aluviales podría estar dado por la dispersión de semillas y la facilidad de dichas semillas en germinar en suelos más arenosos y permeables, como también en que estas zonas con mayor escurrimiento de agua favorecen el mayor crecimiento de los árboles cercanos, generando una simbiosis positiva para el desarrollo de especies, tal como ocurre en laderas de exposición sur.

De esta manera, se repite en otros sectores la respuesta a la red hídrica, como en cerro Esmeralda en el sector de la misión nor-este, donde la densidad mayor se da en la ladera y abanico aluvial por donde escurre la red hidrográfica (Figura 34).

Finalmente, respecto a las quebradas particularmente, se evidencia que se caracterizan por una disminución de la densidad arbórea en sentido Oeste a Este siendo la quebrada más ancha y arbóreamente densa la relacionada a la misión El Roquerío (Figura 34).

### *3.2.3 Análisis de características por zonas de vegetación.*

Los valores de distribución de la vegetación arbórea comprenden los siguientes valores de la tabla 16. Resumen como se distribuye la vegetación en los fragmentos procesados.

**Tabla 16.** Valores de distribución de la vegetación arbórea y arbustiva.

	Zonas arbóreas clasificadas por intersección de geomorfología con exposición solar.								Total Ha árboles	Total Ha AUDP
	Abanico Aluvial Solana	Abanico Aluvial Semiumbría	Ladera Solana	Ladera Semiumbría	Ladera Umbría	Quebrada Solana	Quebrada Semiumbría	Quebrada Umbría		
Ha	4,456	0,380	0,668	0,981	1,601	0,657	0,284	0,630	9,657	62,440
% de Árboles	46,14%	3,94%	6,92%	10,15%	16,58%	6,80%	2,94%	6,52%	100%	
% en AUDP	7,14%	0,61%	1,07%	1,57%	2,56%	1,05%	0,46%	1,01%	15%	100%

Fuente: Elaboración propia.

El conjunto de árboles de la muestra representa el 9,657 Ha dentro de la zona AUDP, representando la cifra no menor del 15% de la zona. Dentro de estas 9,657 Ha se logra evidenciar que la mayor concentración de árboles se presenta en el gran abanico aluvial central de la zona AUDP, los árboles de los abanicos aluviales representan el 50,08% del total de la muestra siendo un factor relevante, donde prácticamente todos los afluentes de la red hidrográficas atraviesan alguno de los abanicos aluviales.

Por otra parte, se logró caracterizar que existen diferencias entre las laderas respecto a su exposición solar, de manera que la cantidad de árboles aumenta a medida que aumenta la cantidad de sombra (Tabla 16).

Respecto a las quebradas, a medida que aumenta la exposición al sol estas se vuelven más angostas y de menor extensión norte /sur. Si bien no se puede establecer a priori que sea por culpa de la exposición solar únicamente, si se evidencia una deyección de árboles una vez terminado la depresión de la quebrada como tal, infiriendo una dinámica de expansión de los sedimentos y dispersión del agua a través de los abanicos aluviales mantiene a los árboles de la zona del abanico en crecimiento. En este sentido, sobre el área de los abanicos aluviales podemos establecer que el crecimiento y densificación de árboles sobre estos abanicos evidencia que los procesos de sedimentación y arborización del área de estudio se encuentran activos manteniendo una dinámica de drenaje estable en el área de estudio.

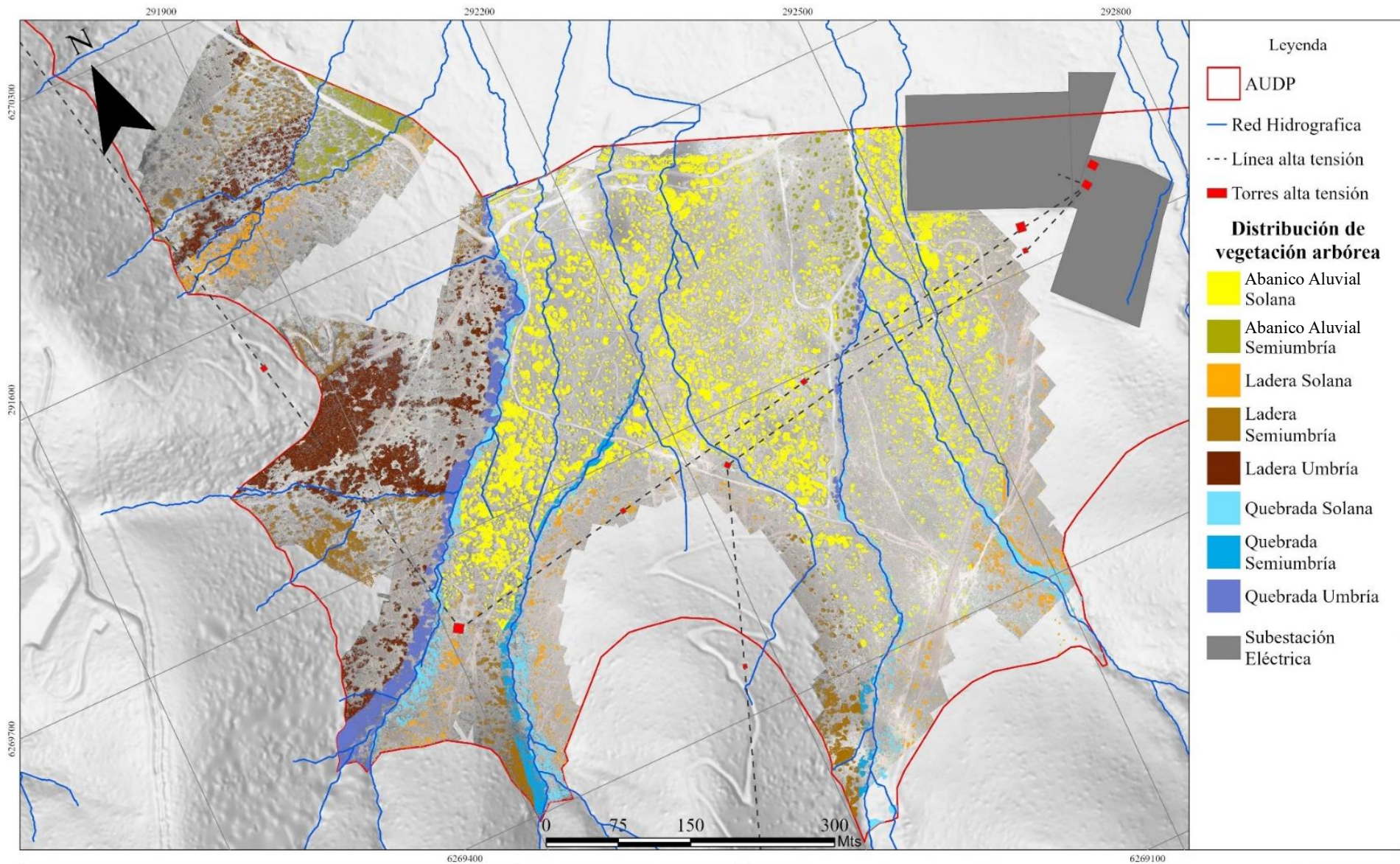
Continuando con las quebradas estas representan un total del 16,27% de los árboles y el 2,52% del área AUDP, un área bastante ínfima, pero de suma importancia si se comprende que es la encargada de drenar las aguas a través de las extensas coberturas arbóreas de la zona AUDP.

En conclusión, según la evidencia de los resultados de este objetivo se puede categorizar en orden de relevancia los factores que dan las características de base a los fragmentos estudiados, siendo en orden de importancia de mayor a menor: Red Hidrográfica, Exposición Solar y Geomorfología.

De esta manera si se busca asociar la vegetación arbórea a los índices de susceptibilidad a remociones en masa debe hacerse un balance de vegetación arbórea, red hidrográfica e índice SvFd.



**Figura 34.** Distribución y caracterización de vegetación arbórea y arbustiva.



Distribución de vegetación arbórea según tipología de zonas clasificadas por exposición solar y geomorfología para zonificación AUDP (PRMS) en ciudad de Melipilla.

1:2500 (A2)  
Proyección UTM - Huso 19 Sur - Datum SIRGAS 2000



Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura  
y Urbanismo  
Carrera de Geografía  
Memoria de Título  
Marco Aliste Millares

	Zonas arbóreas clasificadas por intersección de geomorfología con exposición solar.									Total Ha árboles	Total Ha AUDP
	Abanico Aluvial Solana	Abanico Aluvial Semiumbría	Ladera Solana	Ladera Semiumbría	Ladera Umbría	Quebrada Solana	Quebrada Semiumbría	Quebrada Umbría			
Ha	4,456	0,380	0,668	0,981	1,601	0,657	0,284	0,630	9,657	62,440	
% de Árboles	46,14%	3,94%	6,92%	10,15%	16,58%	6,80%	2,94%	6,52%	100%		
% en AUDP	7,14%	0,61%	1,07%	1,57%	2,56%	1,05%	0,46%	1,01%	15%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Delimitar zonas Z-R-1 y Z-R-5 en la zonificación AUDP del instrumento PRMS actualizado en base de riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda

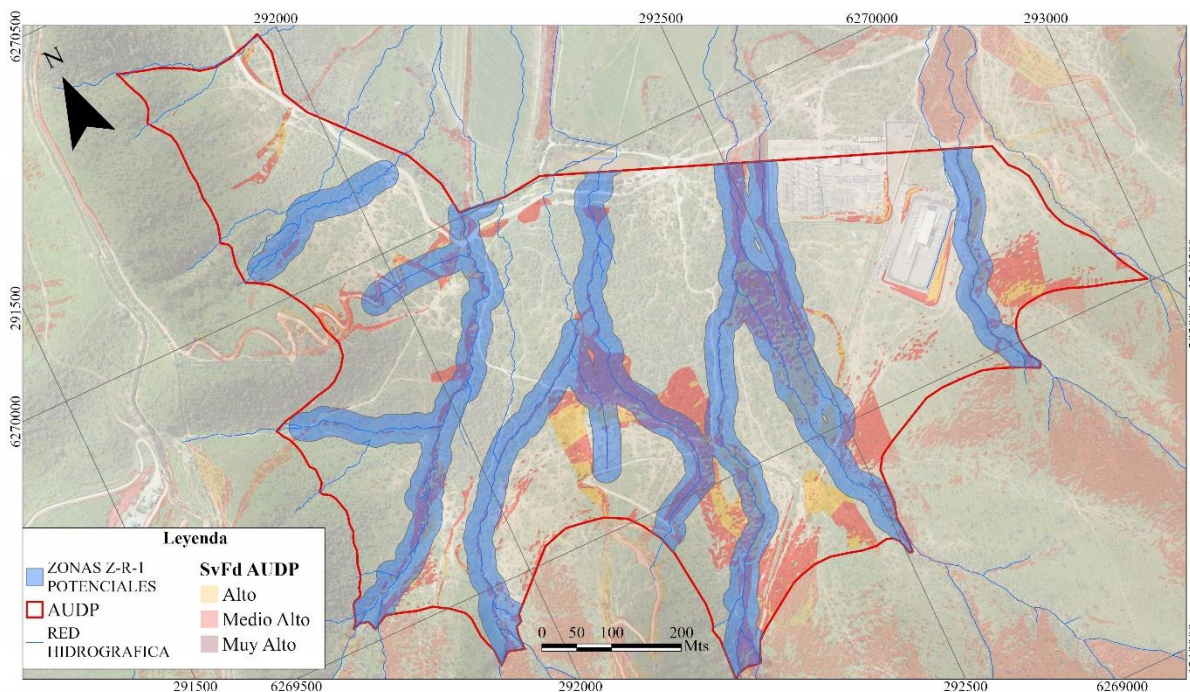
A continuación, se exponen las áreas relevantes derivadas de cada zonificación potencial.

#### 3.3.1 Delimitación de nueva Z-R-1 en AUDP respecto zonas de restricción por alto riesgo de asentamientos humanos.

La red hidrográfica clasificada por intersección o cruce con zonas de susceptibilidad a remociones en masa permitió establecer los cauces con **susceptibilidad de generación de flujos**. La proyección de los cauces relacionados sobre áreas de índice SvFd sobre la zona AUDP arrojó como resultado 6 afluentes que atraviesan la zona.

Los 6 afluentes presentan un ancho total de 40 metros cada uno (Figura 35), duplicando el ancho de 20 metros presente en las Z-R-1 del plano regulador comunal. Los cauces con sus respectivos buffers desembocan hacia el norte de AUDP. Con un área total de 18,85 hectáreas, equivalen al 30% de la zona AUDP. Estos buffers representan el área de influencia que dichos cauces pueden depositar sedimentos, estableciendo un área de amortiguamiento de los cauces que transportan tales sedimentos, para este caso representarían una mejora del estándar de las áreas del PRC, al incorporar y considerar los antecedentes aluvionales ocurridos.

**Figura 35.** Proyección de potenciales zonas Z-R-1 sobre en zona AUDP.



Fuente: Elaboración propia.

Todos los cauces transportan sedimentos según lo demostrado por la fotointerpretación de

los resultados del objetivo 1, sumado a eso todos estos causas **a futuro** podrían aumentar su carga sedimentaria episódica según eventos pluviométricos de gran intensidad, guardando relación directa con procesos de remociones en masa, como también la caída de bloques y rodados.

Por otro lado, con estas áreas la zona AUDP pasaría de tener delimitado un 0% de áreas de riesgos, a un **30%**, cifra bastante razonable considerando que AUDP se emplaza en un gran abanico aluvial con vegetación arbórea. Estas áreas se proyectaron aguas abajo para integrar una planificación urbana desde una perspectiva más sistémica e integrativa de la AUDP con el Plano Regulador Comunal de Melipilla.

Finalmente, estas áreas se deben integrar conjuntamente a las Z-R-5.

### 3.3.2 Delimitación de nueva Z-R-5 en AUDP respecto a zonas de Preservación del Medio Ambiental Natural.

Respecto al cruce de las áreas con presencia de árboles y, los predios agrícolas se resumen los siguientes resultados:

**Tabla 17.** Representación de vegetación arbórea sobre predios agrícolas.

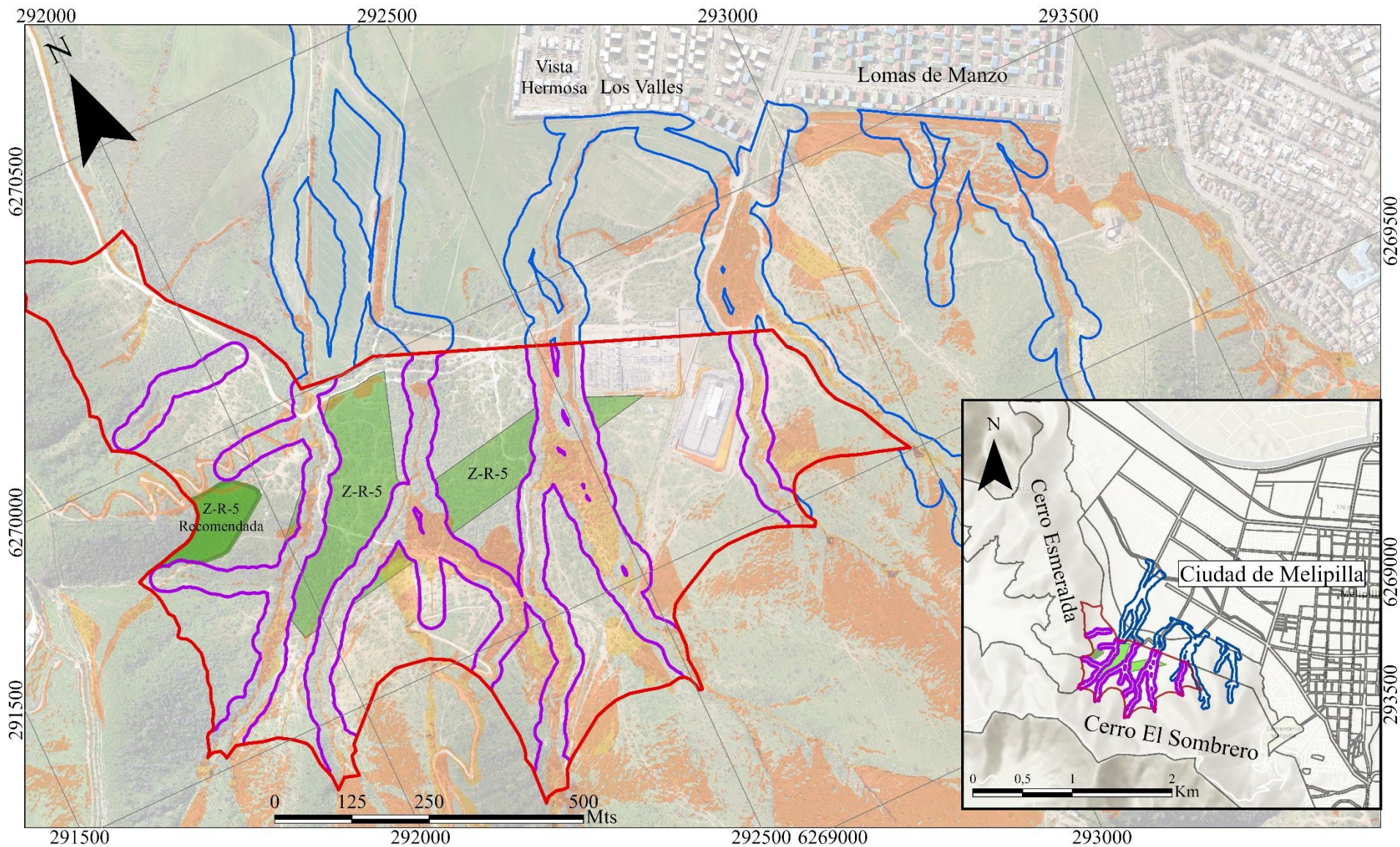
Rol Predial	ÁREA		Porcentajes	AMBIENTES	
	Ha Predio	Ha Arboles		Aridos y semiáridos	Favorables
950	2,842	0,063	2,20%	No Cumple	No cumple
951	5,652	0,953	16,86%	Cumple	No cumple
952	2,649	0,507	19,15%	Cumple	No cumple
953	3,184	0,835	26,23%	Cumple	Cumple
954	3,404	0,726	21,31%	Cumple	No cumple
955	3,889	0,612	15,74%	Cumple	No cumple
956	3,242	0,849	26,19%	Cumple	Cumple
957	2,893	1,098	37,96%	Cumple	Cumple
958	3,009	0,528	17,54%	Cumple	No cumple
959	5,344	1,222	22,87%	Cumple	No cumple
960	2,156	0,067	3,11%	No cumple	No cumple
961	2,591	0,414	15,96%	Cumple	No cumple
962	1,730	0,328	18,94%	Cumple	No cumple
963	1,798	0,174	9,65%	No Cumple	No cumple
964	3,629	0,412	11,36%	Cumple	No cumple
965	8,822	1,560	17,69%	Cumple	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se extrae respecto a la tabla 17 que solo 3 de los 16 predios emplazados en la zona AUDP coinciden con una densidad de vegetación arbórea considerada bosque según la ley 20.283, siendo el **953**, **956** y el **957**, este último con una densidad no menor de 37,96%.



**Figura 37.** Delimitación de potenciales zonas Z-R-1 y Z-R-5 en zona AUDP (PRMS).









Potenciales nuevas zonas de preservación del medio ambiente (Z-R-5) y zonas de restricción por alto riesgo para asentamientos humanos (Z-R-1) para la zona AUDP (PRMS).

Proyección UTM - Huso 19 Sur - Datum SIRGAS 2000


 Universidad de Chile  
 Facultad de Arquitectura  
 y Urbanismo  
 Carrera de Geografía  
 Memoria de Título  
 Marco Aliste Millares

**Legenda**

-  Zonas PRC / PRMS
-  AUDP
-  Zonas Z-R-1

-  Zonas Z-R-5
-  Z-R-1 proyectada
-  Z-R-5 recomendada

- Índice SvFd**
-  Alto
  -  Medio Alto
  -  Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO 4: DISCUSION Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En lo que es atinente a este trabajo investigativo, se han podido observar en base a los resultados, que los procesos de remociones en masa pueden identificarse en zonas de lomajes y cerros islas dentro de la depresión intermedia del valle central del país, su estimación como índice puede considerarse dentro de un contexto urbano para obtener resultados relevantes para la planificación urbana y reducción del riesgo de desastres sicionaturales. En esta línea los resultados expuestos sobre susceptibilidad a remociones en masa se suman a otros estudiados en diversos contextos a nivel país, abordado a nivel de cuenca de un río (Fernandez & Espinoza , 2022), como a nivel de quebrada (Campos, 2014). Esto permite establecer una **relación de multi escalar** entre los diferentes estudios, infiriendo que es una metodología con diversas aplicaciones y versiones según el contexto zonal a estudiar.

Dentro de los resultados de la metodología del índice SvFd relacionado a Padilla (2007) se encontraron diferencias respecto a las diferencias altimétricas del área de estudio habiendo un rango de diferencia superior a 1000 metros, se suma la variabilidad de la escala de los insumos recogidos entre ambas investigaciones. Aun así, la aplicación de los mismos criterios de asignación de valores dio una distribución de resultados por capa similar, expresando índices parecidos. Ambos casos permiten aproximar muy bien las condiciones de base de los entornos físicos estudiados, sea alta montaña o cerro isla.

La consideración de los resultados de esta investigación, tanto desde el reconocimiento de una amenaza latente (85,236 Ha con índice SvFd del área de estudio) y las propuestas hechas de zonificaciones (18,85 Ha de zonas de riesgo para asentamientos humanos), en cambios de usos de suelo serían un aporte en lo buscado en la **política nacional para la reducción del riesgo de desastres** (ONEMI, 2020), permitiendo disminuir la presión asociada a las **condicionantes institucionales del riesgo** presentes en zonificaciones desactualizadas o, mal delimitadas bajo el paradigma actual sobre presión entre vulnerabilidad, exposición y amenazas.

Por otro lado, la relevancia de los resultados de la **caracterización de fragmentos del bosque esclerófilo** principalmente permitió elaborar una aproximación precisa dentro de los amplios estudios de fragmentos, gracias a técnicas de fotogrametría a baja altura (70 metros), pero de gran extensión local (33,9 Ha de muestra), resultando en la identificación de 9,657 Ha de vegetación arbórea y arbustiva.

Esta investigación puede agruparse entre diversos estudios de análisis forestales con variados enfoques, a nivel local se encuentran por ejemplo el estudio de muestras arbóreas controladas bajo diversos ambientes y estímulos para el análisis de reforestación (Becerra, *et al*, 2018), como por otro lado estudios de identificación de tipos o usos forestales mediante fotointerpretación (Edafica, 2012) o de ecosistemas terrestres a nivel cuenca (Pliscoff, 2020).

Todas técnicas diferentes de como abordar la vegetación, pero con una búsqueda de diferentes resultados.

La mayoría de estudios relacionados a bosques o fragmentos esclerófilos en Chile central coinciden en la predominancia del espino (*Vachellia Caven*) en forma del **bosque espinoso costero y el bosque espinoso del interior** en la Región Metropolitana, donde se reconocen para este caso la asociación con especies como **Maiten, Algarrobo y Quillay** (Pliscoff, 2020), pero sin llegar a evidenciar una coexistencia numérica equiparada de dichas especies con el espino, por el contrario, el espino durante las visitas a terreno y el análisis de las ortofotos representa casi en la totalidad a la muestra de árboles.

Aunque dentro de las limitaciones a considerar, está la no poder caracterizar por especies de manera individual, como número de individuos o tipos debido al área de la muestra a diferencia de Becerra, *et al*, 2018, aunque si se obtuvo y analizó **su distribución y densidad**. En este sentido según los resultados y visitas a terrenos se puede establecer, según los análisis y descripciones de (Pliscoff, 2020), que se observa una coexistencia entre el matorral espinoso y el bosque espinoso costero en la zona AUDP, evidenciando según la densidad y características de las zonas de vegetación que; las características del bosque espinoso se asocian a laderas de exposición sur y zonas de escurrimiento hídrico, pudiendo existir mayor presencia de otras especies del bosque esclerófilo en esas zonas; y la presencia de matorral espinoso se evidencian en zonas de menor densidad en laderas solanas y en los límites de los fragmentos.

Finalmente, las zonas de matorral espinoso coincidirían con la etapa más degradada del bosque esclerófilo de la Región Metropolitana, siendo AUDP parte de este contexto (Valdivia & Romero, 2013).

La coexistencia del matorral y el bosque espinoso en **zonas de protección del medioambiente natural** propuestas, representa una oportunidad importante para la regeneración del bosque esclerófilo en entornos urbanos, al considerarlos como infraestructura verde comunal junto a las zonas de abanicos aluviales propuestas como **zonas de riesgos de asentamientos humanos**, ya que ambos **juntos** pueden ser incorporados (dada sus características) como elementos paisajísticos dotados de un rol ecológico multifuncional (Cortez, 2019), frente a amenazas naturales como eventos de remociones en masa.

Cortez (2019) detalla que el paisaje como infraestructura responde a la recuperación de sitios abandonados o no considerados para la ciudad, pero de suma importancia si se incorporan a la planificación de la ciudad contemporánea bajo el prisma de los **servicios ecosistémicos**. En este aspecto, la zona AUDP contemplaría cualidades multifuncionales en sus servicios ecosistémicos, tal es desde su cobertura vegetal arbórea y densa en la disminución de islas de calor (Garrido, 2020) como el rol morfofuncional de la red de drenaje emplazada en la zona Qc de suelo sedimentario.

Al momento de evaluar la relación demostrada de la **erosión de laderas y quebradas**,

**bosque nativo y ordenamiento territorial**, se puede establecer que los efectos negativos que se puedan dar en alguno de los 3 puede afectar al resto (Tabla 18), esta relación de elementos en Melipilla y sus problemáticas denotan un carácter general de problemática medioambiental.

**Tabla 18.** Relación de problemáticas y elementos de la investigación.

ELEMENTOS DE ESTUDIO			
PROBLEMAS	Erosión de laderas y quebradas	Bosque Esclerófilo / Nativo	Instrumentos de planificación territorial
Intervención de laderas y quebradas	Perdida de estabilidad del suelo, aumento de pérdida de suelo por erosión hídrica.	Tala de especies para instalación de faenas. Perdida de suelo fértil.	Intervención de áreas zonificadas como Áreas verdes para parques intercomunales.
Tala y degradación de bosque esclerófilo	Aumenta exposición del suelo a erosión hídrica. Perdida de doseles y hojarasca del suelo.	Perdida de densidad y capacidad de regeneración del bosque nativo.	Perdida de servicios ecosistémicos e infraestructura verde y de paisaje para la ciudad.
Zonificaciones desactualizadas o mal delimitadas	Permite urbanizar en áreas peligrosas o degradadas. Aumenta exposición a amenazas para la población.	No se incorporan o protegen nuevas áreas verdes para la ciudad.	Urbanización problemática o insostenible con el crecimiento de viviendas, en materia de riesgos o áreas verdes.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que respecto a la intervención de laderas en Melipilla se puede evidenciar componentes de tele acoplamiento multiescalar (Souza, 2020), en sentido de que producto de la constante y creciente demanda energética del país, los proyectos interregionales de torres de alta tensión de interés nacional tienen consecuencias tales que, son los mismos instrumentos de planificación territorial de esta comuna rural (Berdegué *et al.*, 2010) los que deben adaptarse a las consecuencias negativas de estos proyectos, los cuales no siempre cumplen a cabalidad la normativa ambiental al ejecutarse, tal es el caso de la no estabilización posterior de los taludes construidos.



## 4.2 Conclusiones

La investigación a escala urbana y de alto detalle se presenta como una oportunidad de trabajar en áreas más asequibles, ya que entrega resultados aplicables a la configuración urbana, ampliando el abanico de opciones a la hora de la toma de decisiones en lo que respecta a nuevas zonificaciones de expansión urbana.

La incorporación del concepto de erosión hídrica orientada a laderas y quebradas con vegetación arbórea y arbustiva mediante una caracterización detallada y precisa de la erosión de suelo permitió identificar zonas con una **alta erodabilidad** en los cerros El Sombrero y Esmeralda.

El abordaje de las problemáticas de este estudio mediante técnicas de procesado de información temática para la erodabilidad de cerro El Sombrero y Esmeralda junto a la fotogrametría y procesado de coberturas vegetales permitió abordar la escala urbana de alto detalle obteniendo resultados que permiten una zonificación acorde al instrumento normativo comunal.

Cabe destacar que dentro de la metodología se logró **traspasar información cualitativa de los hitos del suelo a información cuantitativa**. Esto permitió ejecutar un enfoque mixto y detallado hacia la amenaza, dentro el cual se destaca la **fotointerpretación** de formas de erosión y de elementos peligrosos como bloques y rodados. Sumado a esto, el levantamiento de coberturas vegetales a nivel local permitió demostrar la presencia de potenciales masas boscosas para su protección, dada su relación como condicionantes bases de las amenazas de remociones en masa.

Otro aspecto del análisis de la susceptibilidad a remociones en masa es que mediante su espacialización y conocimiento se aporta a la constante demanda de información relacionada a amenazas del país. En este contexto la nueva ley SENAPRED demanda a reforzar la aplicación de los lineamientos teóricos del riesgo, dictándolos como de interés legal, focalizando la presencia de estos conceptos a nivel institucional como política pública.

De esta manera, desde la caracterización del riesgo empleada, sí se presentan los beneficios esperados por la ley, permitiendo la **toma decisiones basada en la reducción de la exposición a la amenaza** en torno a la planificación urbana. Tal es el caso en la evidencia de **la proximidad del fenómeno estudiado hacia las zonas que hoy en día se pueden urbanizar**, información relevante para los organismo e instituciones (Municipalidad y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en este caso) que disponen del poder normativo respecto al uso de suelo, con la pueden cambiar sus usos y generar una reducción positiva de la exposición a la amenaza de susceptibilidad a remociones en masa.

En perspectiva amplia, la suma de estos factores estudiados (amenaza y vegetación) puede ayudar a la preservación de ambientes naturales manteniendo sus características de resiliencia frente a amenazas hidro climáticas. Antes estos antecedentes es necesario seguir reforzando

los estudios urbanos locales para una mejora continua de los instrumentos de ordenamiento territorial en beneficio de ciudadanía.

Dentro de las limitantes asociadas a la metodología de la elaboración del índice SvFd es que dado el tamaño de la investigación la cantidad de variables incluidas y la jerarquización de estas mismas fue más reducida, se establece una metodología más abreviada de índices SvFd.

También otra limitante es que los insumos para la elaboración de las capas no estaban estandarizados en la misma escala, siendo necesaria actualización de los insumos para aumentar la presión de los resultados.

Por otro lado, una potencialidad de las técnicas de fotogrametría es la inclusión de tecnologías más nuevas para la generación de nubes de puntos densas de mayor precisión, tal puede ser el apoyo de módulos RTK y de estaciones totales o GPS geodésicos en terreno para el aumento de la precisión de la georreferenciación

Para finalizar se recomienda la aplicación de los resultados en un nuevo plano regulador comunal para la modificación de las zonas PRMS desactualizadas en materia de riesgos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGROLOG CHILE. (1981). Estudio de suelos del proyecto Maipo TOMO III.
- Arenas, F., Lagos, M., & Hidalgo, R. (2010). Los riesgos naturales en la planificación territorial. *Centro de Políticas Publicas UC*.
- Becerra, P., Smith-Ramírez, C., & Arellano, E. (2018). Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central. *Fondo de Investigación del Bosque Nativo CONAF*.
- Berdegué, J., Jara, E., Modrego, F., Sanclemente, X., & Schejtman, A. (2010). Comunas Rurales de Chile.
- Blaikie, P., Cannon, T., David, I., & Ben, W. (1996). Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. *La Red*.
- Caballero, E. & Sosa, C. (2015) Riesgos y morfología urbana: Ciudades en planicies y laderas.
- Campos, F. (2014). Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada los chanchos, Región Metropolitana, Chile.
- CIREN . (2011). Sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo en Chile - Biblioteca digital. Santiago de Chile.
- CIREN. (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región Metropolitana: Ciren.
- Cortez, G. (2019). El escenario del desastre: Parque Aluvial Quebrada de Macul. Reclamación del paisaje de infraestructuras aluviales en la precordillera Andina.
- Donoso, C. (1982). Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile.
- Edáfica. (2012). Etapa III: Informe final. Actualización carta de uso de suelo en la región metropolitana de Santiago. *Gobierno regional de la Región Metropolitana de Santiago: Edáfica*.
- Espinoza, C. (2012). Propuesta metodológica para establecer áreas de riesgos por remoción en masa, Chile.
- Fernández H., J., & Espinoza C., L. (2022). Susceptibilidad a remociones en masa en la cuenca del Río Copiapo, Región de Atacama. *SERNAGEOMIN*.

- Garfias, R., Castillo, M., Ruiz, F., Vita, A., Bown, H., & Navarro, R. (2018). Remanentes del bosque esclerófilo en la zona mediterránea de Chile central: caracterización y distribución de fragmentos.
- Garrido, H. (2020). El rol de las propiedades funcionales de la vegetación urbana y gases contaminantes sobre la ocurrencia de islas de calor.
- Glaría, V. (2013). Evaluación exploratoria de sustentabilidad de tres socio-ecosistemas en el matorral y bosque esclerófilo de Chile Central. *POLIS*.
- Gob.cl. (2022). Autoridades presentan Senapred, el nuevo servicio que reemplazará a Onemi. *Obtenido de Gobierno de Chile: <https://www.gob.cl/noticias/autoridades-presentan-senapred-el-nuevo-servicio-que-reemplazara-la-onemi/>*
- INE. (2017). Resultados Censo 2017. *Obtenido de Visor de datos, Región Metropolitana de Santiago, comuna de Melipilla: <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>*
- Jaque, E., & Manzanarez, P. (2005). Evaluación de la erodabilidad hídrica en la cuenca hidrográfica de la laguna Quiñenco, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista Geográfica Norte Grande n°33, págs. 103-112.*
- Larenas, J. A., Salgado, M. A., V., & Fuster F, X. S. (2015). Enfrentar los desastres sicionaturales desde los capitales y recursos comunitarios: el caso de la erupción volcánica de Chaitén, Chile. *Magallania, 43(3), 125–139.* <https://doi.org/10.4067/s0718-22442015000300010>
- Manriquez Zúñiga, A. (2024). Análisis de los informes de susceptibilidad por remociones en masa en los estudios fundados de riesgos de los plano reguladores comunales. Chile. Concepción.
- MINVU. (2007). Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago. Minvu.
- Mondaca, L. (2013). Incidencia del plan regulador comunal en la formación de zonas climáticas locales: caso de ciudad de Melipilla.
- ONEMI. (2020). Política nacional para la reducción del riesgo de desastres. Plan estratégico nacional 2020-2030. *Departamento de gestión del sistema nacional de protección civil ONEMI.*
- Padilla, R. (2007). Dinámica geomorfológica actual del paisaje de ontaña, correspondiente al bloque sur-oeste de la Región Metropolitana.

- Pezoa, M. & Henriquez, C. (2014). Modelación de la expansión urbana sobre los suelos de aptitud agrícola de la comuna de Melipilla, Región Metropolitana de Santiago, Chile, al año 2036.
- Pliscoff, P. (2020). Analisis del estado actual de los ecosistemas terrestres asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule. *Escenarios Hidricos Chile 2030*.
- Romero, F., Cozano, M., Gangas, R., Naulin, P., (2014) Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile.
- Sarricolea Espinoza, P., Herrera Ossandón, M., & Meseguer Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalization of continental Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146887>
- SEIA. (2023). Nueva Línea 2x220 Nueva Alto Melipilla - Nueva Casablanca - La Pólvora - Agua Santa.
- SERVIU. (2006). Modificación PRMS Memoria explicativa n° 73 Incorporación de las comunas de Curacaví, María Pinto, Melipilla, San Pedro, Alhué, Padre Hurtado, Peñaflor, Talagante, Isla de Maipo, El Monte, Buin y Paine.
- SII. (2024). Servicio de Impuestos Internos. *Obtenido de Mapas SII - Cartografía Digital SII Mapas: <https://www4.sii.cl/mapasui/internet/#/contenido/index.html>*
- SMA. (2020) Superintendencia del Medio Ambiente formula 5 cargos contra la empresa Eletrans II S.A. *Obtenido de: <https://portal.sma.gob.cl/index.php/sma-formula-5-cargos-contra-la-empresa-eletrans-ii-s-a/>*
- Souza, M. L. (2020). Articulando ambiente, território e lugar: A luta por justiça ambiental e suas lições para a epistemologia e a teoria geográficas.
- Tayupanta, J. (1993). La erosión hídrica: proceso, factores y formas. 1993. *Iniap*.
- Valdivia, C., & Romero, C. (2013). En la senda de la extinción: El caso del Algarrobo *prosopis chilensis* (fabaceae) y el bosque espinoso en la región metropolitana de Chile central. *Gayana bot. Vol.70 no.1*.
- Vega Carreño, M., & Febles Gonzalez, J. (2005). La investigación de los suelos erosionados: Metodos e índices de diagnostico.
- Wall Z, R., Gana F, P., & Gutiérrez P, A. (1996). Mapa Geológico del Área de San Antonio-Melipilla. Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. *Obtenido de SERNAGEOMIN: <https://portalgeomin.sernageomin.cl/>*

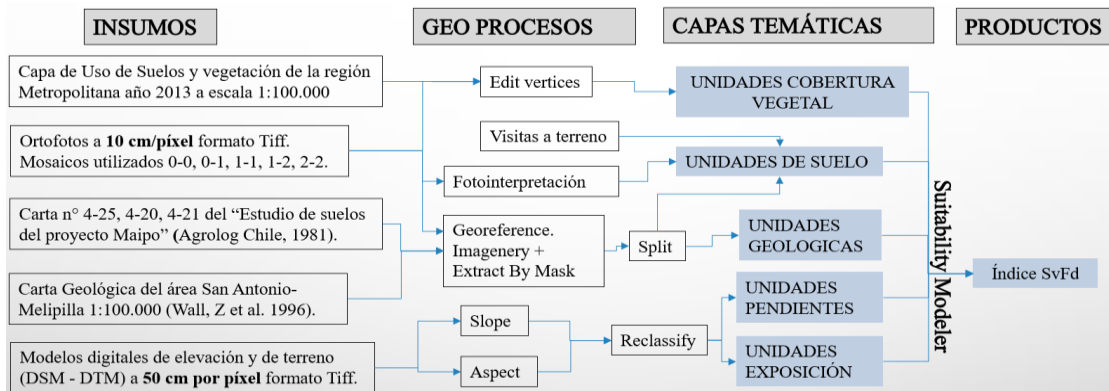
## ANEXOS

### Anexo 1. Resumen de metodología general.

Área objetivo: Zonas PRMS y PRCM del límite de extensión urbana de Ciudad de Melipilla.		
Objetivo Específicos	Proceso	Resultados Esperados
1) Identificar los procesos de erosión de laderas y quebradas asociadas a remociones en masa en el cerro El Sombrero y Esmeralda.	Zonificación del fenómeno y su probabilidad de <b>ocurrencia</b> mediante “ <b>Índice SvFd</b> ”	Archivo ráster con información categorizada de 1 a 5 en la escala de “Índice SvFd”.
Área objetivo: Zonificación AUDP sur del instrumento PRMS.		
2) Caracterizar fragmentos de bosque esclerófilo presentes en la zona AUDP del cerro El Sombrero y Esmeralda.	Caracterización detallada de fragmentos de bosque esclerófilo relevantes en la zona AUDP	Caracterización de la cobertura vegetal consideradas dentro en AUDP.
3) Delimitar nuevas zonas Z-R-1 y Z-R-5 con los lineamientos o estrategias de riesgos socio-naturales y preservación en la zona AUDP de los cerros El Sombrero y Esmeralda.	Zonificación en base a los resultados de los objetivos 1 y 2.	Creación de propuesta y estimación de potenciales zonas Z-R-1 y Z-R-5 basado en resultados y análisis previos.

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 2. Resumen metodológico de geoprocursos en elaboración de capas.



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Carta geológica georreferenciada



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 4.** Unidad “Qc” con procesos sedimentarios aun activos.



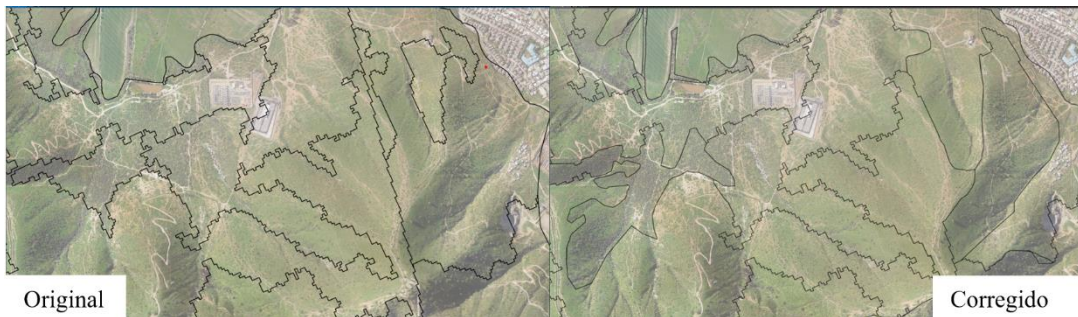
Fuente: Fotografía propia, Marco Aliste, visita a terreno.

**Anexo 5.** Tipología de Usos y Coberturas de Suelo en el archivo.

USO DE SUELO	CATEGORÍAS DE USO/COBERTURA		
	1:250.000	1:100.000	1:30.000
PATRIMONIO NATURAL	Bosque y renoval nativo	Bosque-renoval	Bosque nativo
			Bosques-renovales
	Matorral arborescente	Matorral arborescente	Matorral arborescente
			Matorral arborescente muy abierto
			Matorral arborescente abierto
			Matorral arborescente semidenso
			Matorral arborescente denso
			Estepa de espino
	Matorral con suculentas	Matorral con suculentas	Vegetación arbórea y de matorrales preandinos
			Matorral con suculentas
			Matorral con suculentas muy abierto
			Matorral con suculentas abierto
			Matorral con suculentas semidenso
			Matorral con suculentas denso
			Matorral muy abierto
Matorral abierto			
Matorral semidenso			
Matorral denso			
Matorral mediterráneo			
Matorral pradera abierto			
Matorral pradera denso			
Matorral ralo			
Matorral ralo sobre sustrato rocoso			

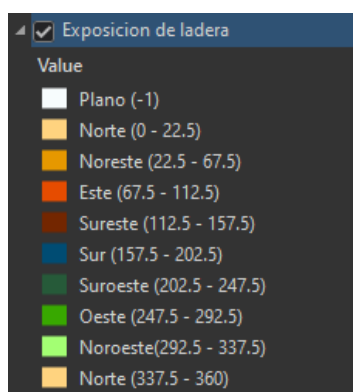
Fuente: Extraído de p-67 “ACTUALIZACIÓN CARTA DE USO DE SUELO EN LA RMS”, (Edáfica, 2012)

**Anexo 6.** Comparativa de límites USO\_TIERRA corregido.



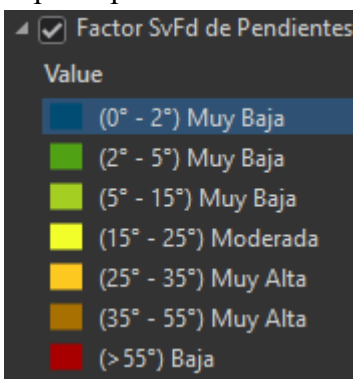
Fuente: Elaboración propia. Visualización de capas en ArcGIS Pro

**Anexo 7.** Capa de exposición de ladera con clasificación SvFd.



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS Pro.

**Anexo 8.** Capa de pendiente con clasificación SvFd



Fuente: Elaboración propia.

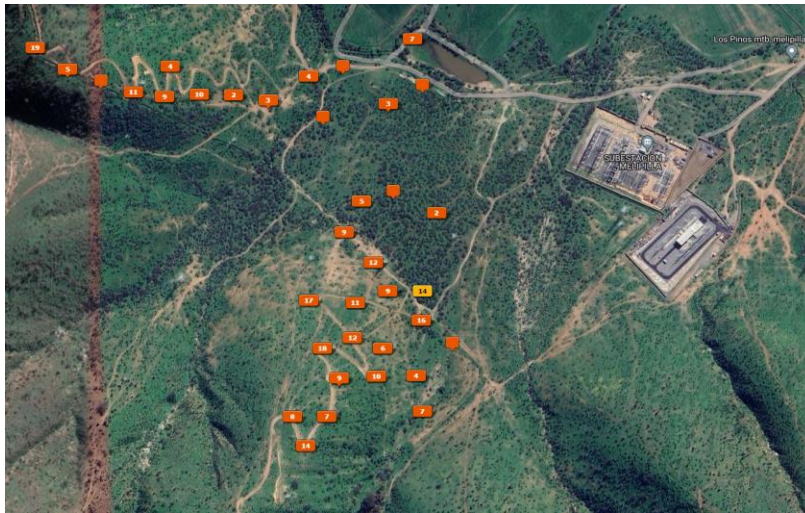
**Anexo 9.** Cartas de suelo georreferenciadas para creación de capa de suelos.



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS Pro.

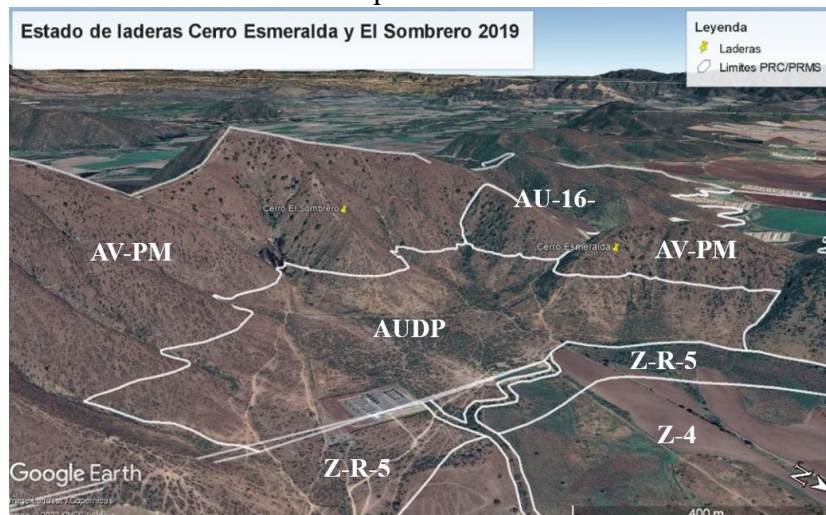


**Anexo 10.** Visualización de n° de etiquetas GPS de fotografías.



Fuente: Elaboración propia en visor Mapa Adobe Lightroom Classic.

**Anexo 11.** Laderas en zona AUDP previas a intervención de torres de alta tensión.



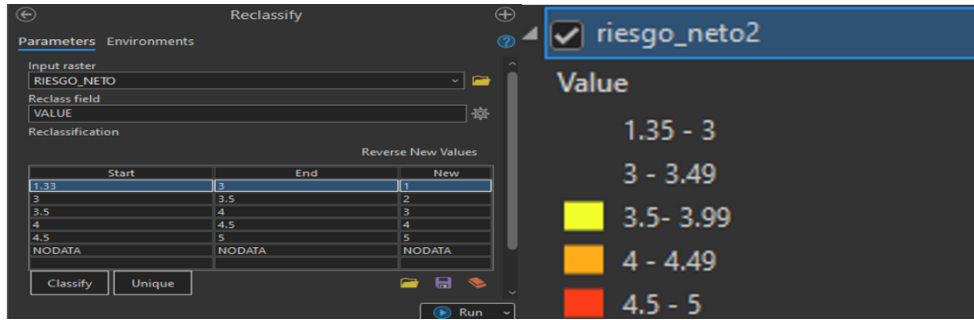
Fuente: Extraído de Google Earth, imagen satelital año 2019.

**Anexo 12.** Espinal Arborescente en horizonte arenoso de depósito de quebradas.



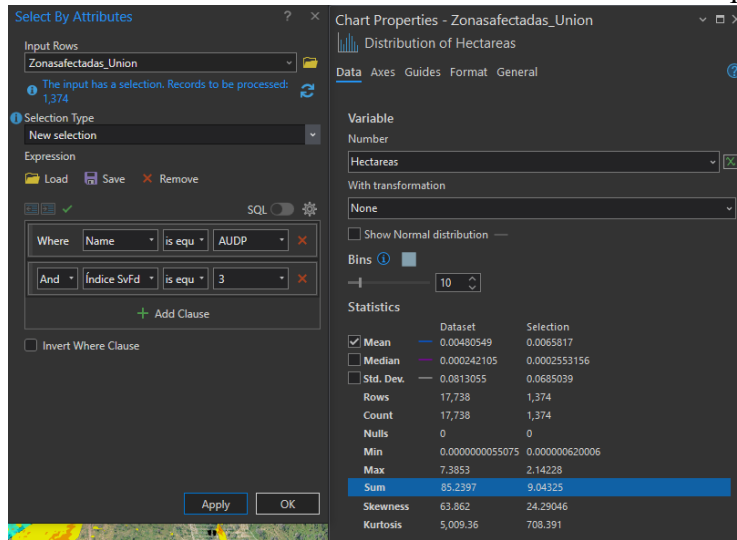
Fuente: Fotografía Marco Aliste septiembre 2020. Zona AUDP sur.

**Anexo 13.** Reclassificación del riesgo neto y valores finales y colores a representar.



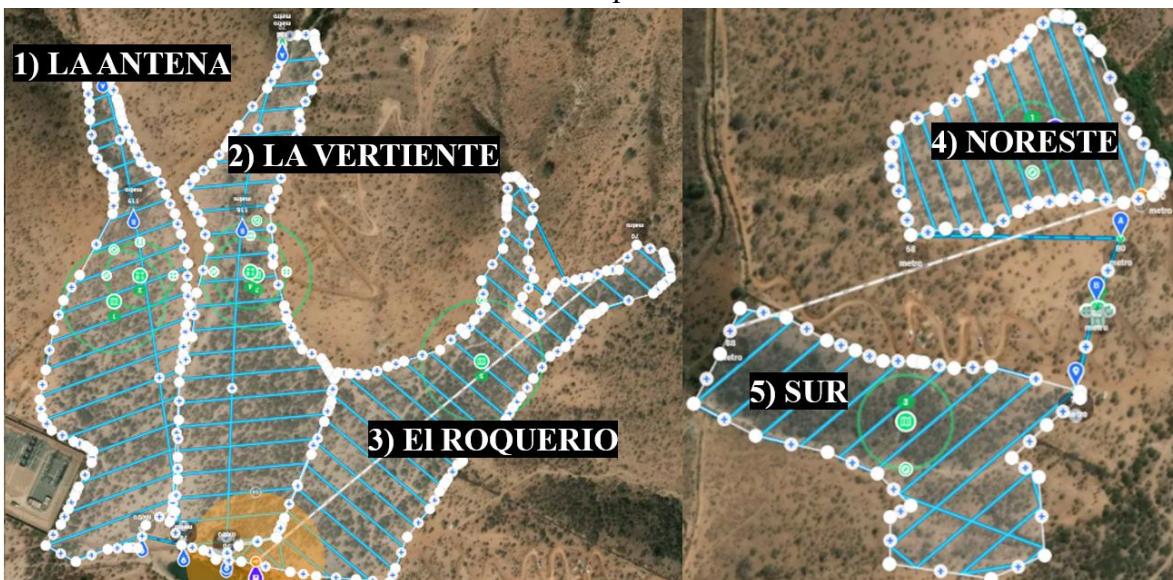
Fuente: ArcGIS Pro Reclassify.

**Anexo 14.** Sumatoria de áreas en común a través de “Seleccionar por atributos”.



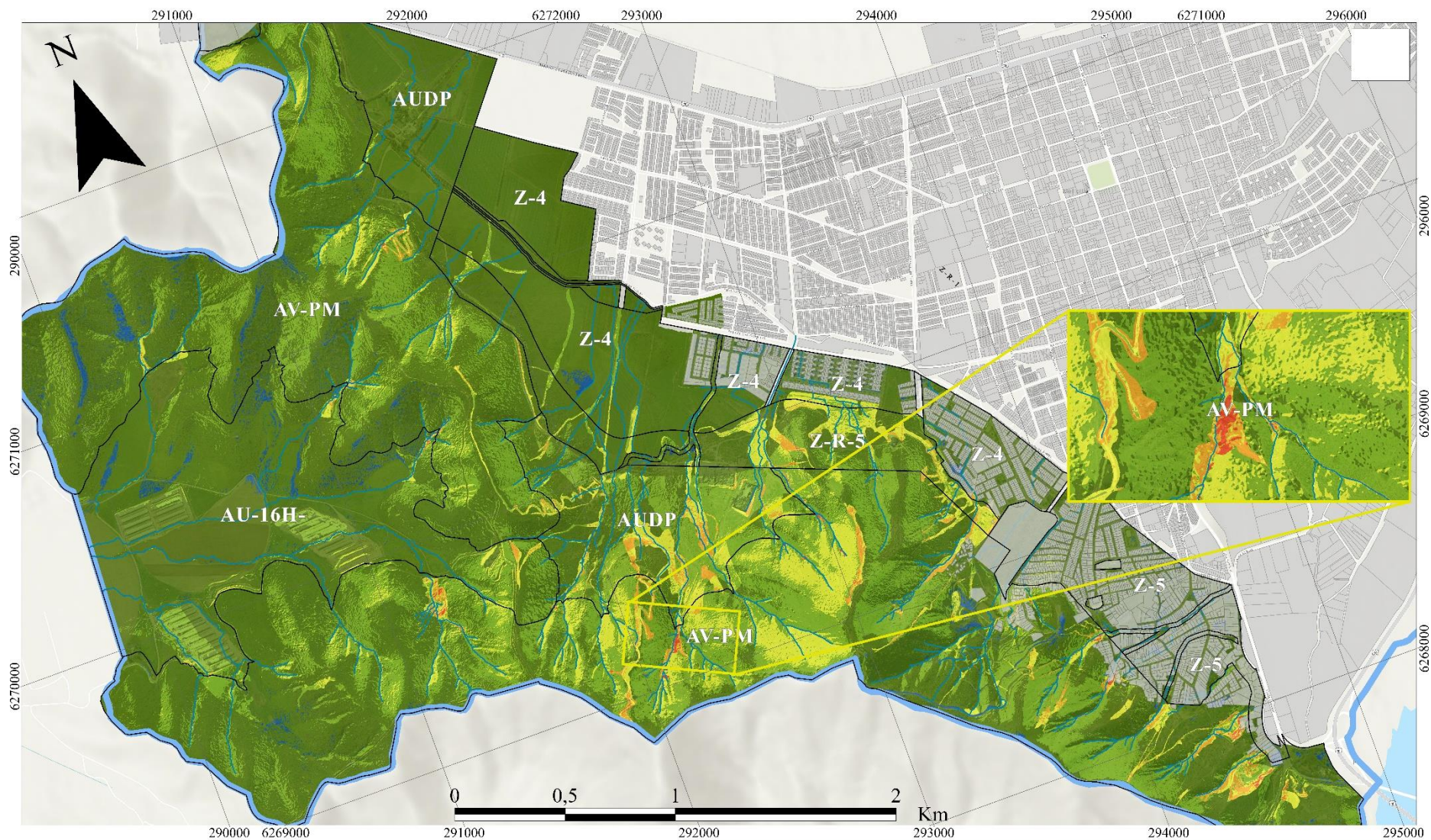
Fuente: Select by attributes ArcGIS Pro.

**Anexo 15.** Resumen de emplazamiento de misiones.



Fuente: Marco Aliste con datos Dronelink.

### Anexo 16. Índice SvFd no clasificado.



Índice de susceptibilidad a remociones en masa no clasificado para zonificaciones PRCM/PRMS dentro del límite de extensión urbana. Comuna y ciudad de Melipilla

1:5500 (A0)  
Proyección UTM - Huso 19 Sur - Datum SIRGAS 2000


 Universidad de Chile  
 Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
 Carrera de Geografía  
 Memoria de Título  
 Marco Aliste Millares

Leyenda	
Red Hidrografica	Medio
División Predial Urbana	Alto
Limite de Extencion Urbana (PRMS)	Muy Alto
Zonas PRC/PRMS	Moderado
	Muy Bajo
	Bajo

Fuente: Elaboración propia.