



Guía de Conservación de Suelos Forestales

UNIVERSIDAD
AUSTRAL
DE CHILE



**Proyecto Certificación del Manejo
Forestal en las Regiones Octava,
Décima y Duodécima**

**GUÍA DE CONSERVACIÓN
DE SUELOS FORESTALES**

JORGE GAYOSO - DIEGO ALARCÓN

VALDIVIA
1999

Programa de Producción Forestal y Medio Ambiente
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Austral de Chile
Valdivia - CHILE

Fono: +56 63 221637 / 293315 / 293316 / 293092

Fax: +56 63 221231

e-mail: proforma@uach.cl

<http://www.uach.cl/proforma>

PRÓLOGO

- La presente ***Guía de Conservación de Suelos Forestales*** forma parte del Estudio de Certificación del Manejo Forestal en las Regiones Octava, Décima y Duodécima, financiado a través del Fondo de Desarrollo e Innovación de la Corporación de Fomento a la Producción y la Comunidad Europea a través del Proyecto Ecocertificación de Maderas y Productos Forestales en Chile.
- En conjunto con otros documentos, integra un marco normativo voluntario, propuesto con el objetivo de acercar la actividad forestal a un nivel de mayor sustentabilidad en la utilización de los recursos naturales involucrados.
- En su calidad de propuesta en desarrollo, esta guía debe ser sometida a revisión por los diversos grupos de interés, con la finalidad de constituir un material de consenso respecto del tema. Se espera que esta publicación contribuya a orientar a los profesionales del sector y al público en general, en el avance hacia un mejoramiento sostenido en el manejo del recurso forestal del país. Se agradecerán todas las sugerencias o comentarios al presente texto, las cuales se considerarán en su perfeccionamiento a futuro.
- Este documento ha sido elaborado por Jorge Gayoso y Diego Alarcón, del Grupo de Producción Forestal y Medio Ambiente, del Instituto de Manejo Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, mediante un contrato de asesoría técnica entre la mencionada casa de estudios y el Instituto Forestal.
- En este documento han contribuido también, los profesionales Mauricio Acuña, Roberto Muñoz, Oriana Ortiz y Bastienne Schlegel. El diseño de las láminas es mérito de Marco Roselott.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. EL SUELO, COMPONENTE AMBIENTAL.....	6
3. FRAGILIDAD DEL SUELO FORESTAL.....	7
3.1 SUSTENTABILIDAD DEL RECURSO SUELO	7
3.2 PROPIEDADES DEL SUELO.....	8
3.3 PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS.....	10
3.3.1 Extracción de nutrientes.....	13
3.3.2 Compactación.....	14
3.3.3 Desplazamiento o remoción.....	15
3.3.4 Erosión.....	16
3.3.5 Deslizamiento.....	19
3.4 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE FRAGILIDAD EN SUELOS FORESTALES.....	20
3.4.1 Ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)	21
3.4.2 Metodología multicriterio para fragilidad de suelos forestales (UACH).....	23
4. MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO FORESTAL.....	27
4.1 CONSERVACIÓN DEL SUELO EN LA PLANIFICACIÓN FORESTAL.....	27
4.2 CONSERVACIÓN DE LA SUPERFICIE DE SUELOS FORESTALES.....	31
4.3 PREVENCIÓN DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA DEL SUELO.....	33
4.3.1 Preparación de sitio.....	33
4.3.2 Cosecha forestal.....	40
4.3.3 Caminos forestales.....	45
4.4 MITIGACIÓN DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA DE LOS SUELOS FORESTALES.....	50
4.5 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS FORESTALES.....	54
5. BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXOS.....	59
A. Pauta evaluación de fragilidad potencial de suelos forestales.....	60
B. Compendio de propiedades del suelo.....	67
C. Características de los principales suelos forestales de Chile.....	81

1. INTRODUCCIÓN

- Las actividades ligadas al manejo forestal en general, producen un efecto o impacto directo sobre los componentes del medio ambiente, como son el suelo, el agua, y los componentes bióticos. Con el fin de prevenir o minimizar dicho impacto, es necesario llevar a cabo prácticas forestales que conduzcan hacia una mayor sustentabilidad en el manejo forestal.
- Los científicos de suelos comúnmente califican al componente ambiental suelo como un bien de carácter no renovable en términos de escala temporal humana, y como tal, debe ser protegido para sustentar sus propiedades y funciones en el largo plazo. Tomando en cuenta esta cualidad, es necesario entender el concepto de conservación del suelo como el mantenimiento de su productividad bajo una determinada condición de uso. Dicha productividad es función de un conjunto de condiciones ambientales, y en particular, de los atributos físicos y químicos del suelo.



- Las acciones de conservación, por lo tanto, deben estar dirigidas hacia adecuar las prácticas actuales en cada sitio, de tal forma de no provocar cambios de importancia en los factores que determinan la productividad del suelo, o bien, si éstas alteraciones se llegan a generar escapando de su prevención, operar con oportunas medidas correctivas.

- Para lograr lo anterior, es necesario conocer el conjunto de propiedades y condiciones que definen la productividad y el comportamiento mecánico del suelo, y tomarlas en consideración de forma previa a la ejecución de las actividades de producción forestal.

- Los principales impactos sobre el suelo de uso preferentemente forestal aparecen vinculados a una inadecuada planificación, construcción y mantenimiento de caminos forestales, el empleo de la quema como práctica de preparación de sitios para plantar y la realización de madereo terrestre en temporada húmeda (Gayoso, 1997).

- Entre otros efectos producidos, la remoción, compactación y erosión de suelos se traducen en pérdida de superficie productiva, disminución de la productividad del sitio y generación de sedimentos que alteran por consecuencia la calidad de las aguas.

- Los problemas de erosión severa, que pueden ocurrir en terrenos forestales, son originados por operaciones de cosecha en altas pendientes, madereo a lo largo de la pendiente, construcción de caminos en terrenos de topografía abrupta y con sistemas de drenaje inapropiados. Por consiguiente, es necesario plantear criterios más específicos para las actividades forestales de mayor influencia en el recurso suelo, con el fin de asegurar una adecuada protección de este componente ambiental.

- En la actualidad, existe un Plan Nacional de Conservación de Suelos en estudio, liderado por CONAMA y el Ministerio de Agricultura, el cual aborda la problemática de la conservación de los suelos de nuestro país en general.

- En armonía con los objetivos de dicho plan, la presente Guía de Conservación de Suelos Forestales plantea medidas concretas para la prevención de eventuales impactos negativos de las actividades de producción forestal, minimizando los efectos adversos al suelo mediante el control de los factores directamente involucrados. Esto requiere un entendimiento de los procesos de degradación del suelo y el conocimiento de la correcta implementación de operaciones de cosecha y planificación de la construcción de caminos.

OBJETIVO

- Las Guías de Conservación están dirigidas a los componentes del ambiente, tales como el suelo, el agua, el componente biótico y el paisaje. Caracterizan cada componente ambiental por separado, agrupan las actividades de manejo forestal que afectan o tienen un impacto en el componente ambiental y presentan soluciones frente a los problemas identificados en cada componente, orientadas a lograr un manejo sustentable de los recursos.
- Las Guías de Conservación tienen por objetivo el apoyar al profesional forestal en la planificación, prescripción e implementación de actividades de producción forestal, que propendan a la sustentabilidad en el manejo forestal.
- Esta Guía de Conservación de Suelos Forestales pretende visualizar el componente ambiental en cuestión, y los niveles de susceptibilidad al cambio o grados de fragilidad que pueda presentar, y a partir de ellos, brindar recomendaciones que apunten a implementar prácticas de manejo forestal que minimicen los impactos negativos al medio ambiente.
- Del mismo modo se indican elementos clave que el profesional debe tomar en consideración, desde el punto de vista del componente ambiental, destacando las situaciones que necesitan un tratamiento especial.

CONTEXTO DE LAS GUÍAS DE CONSERVACIÓN

- La Guía de Conservación es uno de los componentes de un futuro Código de Prácticas Forestales de carácter voluntario. El Código de Prácticas Forestales constaría de una Ley de las Prácticas Forestales, los Reglamentos, las Normas, la Mejores Prácticas de Manejo y las Guías de Conservación, cuya implementación debiera ayudar a conservar las propiedades productivas del recurso en el largo plazo.
- Las Guías sirven al usuario como apoyo en su juicio profesional para desarrollar estrategias y prescripciones específicas de uso según cada condición de sitio. Proveen recomendaciones de procedimientos y elementos a considerar en prácticas forestales habituales, con el objeto de mejorar la conducta ambiental de la actividad y minimizar los impactos sobre el ecosistema, lo cual favorece la conservación de los componentes del ecosistema forestal y por ende llevan a una mayor sustentabilidad del manejo forestal en su conjunto.

2. EL SUELO, COMPONENTE AMBIENTAL

- El suelo es un cuerpo natural que forma parte de la superficie de la tierra, está constituido por material de origen orgánico y mineral, corresponde a un componente ambiental vital para el bosque, ya que sirve de soporte y controla la disponibilidad del agua y los nutrientes requeridos para el desarrollo de las plantas.
- El suelo es uno de los factores que determina la calidad de un sitio, siendo un importante componente del ecosistema forestal que influye considerablemente en la tasa de crecimiento del bosque, en la calidad de la madera, resistencia de las especies a enfermedades y frente a ciertos factores abióticos adversos como vientos fuertes.
- El suelo constituye un recurso básico vital para las actividades humanas, y como sistema integrado que incluye especies vegetales, animales y microorganismos diversos, que interactúan mediante procesos físicos y biológicos que ayudan a mantener los ciclos del agua, energía y nutrientes que son el pilar del ecosistema forestal completo.
- El suelo sirve también de un verdadero filtro para proteger y amortiguar los otros componentes del ecosistema forestal de diversos procesos de daño o contaminación.
- Las características del suelo influyen en gran medida en la vegetación y en la fauna que contribuyen a la mantención de la biodiversidad del ecosistema forestal.
- El suelo, como componente básico del ecosistema forestal, constituye el principal insumo de la producción forestal, por lo que es necesario velar por su conservación para lograr el objetivo de una silvicultura sustentable en el largo plazo.

3. FRAGILIDAD DEL SUELO FORESTAL

3.1 Sustentabilidad del recurso suelo

- Con el objeto de acercar las actividades silvícolas hacia un mayor grado de sustentabilidad, es necesario que las prácticas se lleven a cabo tomando en consideración criterios de conservación de los componentes ambientales, en especial el suelo, dada su trascendencia en la capacidad productiva del ecosistema forestal en su conjunto.
- Para lograr esta sustentabilidad, es imprescindible contar con un conocimiento acabado de:
 - La condición de **susceptibilidad a la degradación** del área dentro del cual se considera actuar (fragilidad ecológica).
 - La **línea de base** de la actividad a realizar o descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad, de forma previa a su ejecución, como indica la Ley de Bases Generales de Medio Ambiente.
 - Las **tecnologías** que minimicen el impacto del manejo forestal al suelo.
- Dentro de la condición de susceptibilidad del ecosistema a la degradación, es necesario considerar la **renovabilidad del recurso suelo**. La legislación, a través de la Ley N°19300 de Bases Generales de Medio Ambiente, considera al suelo como un recurso renovable, entendiéndose a una escala de tiempo superior a la humana, ya que la tasa de formación o recuperación de los suelos es muy baja. Sin embargo, en términos prácticos, si se considera el horizonte temporal de las actividades silvícolas, es necesario tratar al suelo como un recurso no renovable a escala humana (Horn, 1996).
- La **conservación de los suelos forestales** y su sustentabilidad como recurso renovable, es posible sólo **en la medida en que los impactos de las operaciones de manejo forestal, no excedan la capacidad del suelo de recuperarse** por procesos naturales a largo plazo. Esto quiere decir que las pérdidas de material edáfico por erosión no deben exceder las tasas de su formación, y de igual forma, que la extracción de nutrientes no exceda la entrada de los mismos (Gayoso, 1996).

- La sustentabilidad del manejo forestal dependerá en gran parte de la mantención de la fertilidad y capacidad productiva del suelo. El empleo de prácticas inadecuadas de manejo del suelo entre los períodos de cosecha y establecimiento de la plantación pueden producir una notable disminución de la producción del suelo a largo plazo (Smith y Norris, 1995).

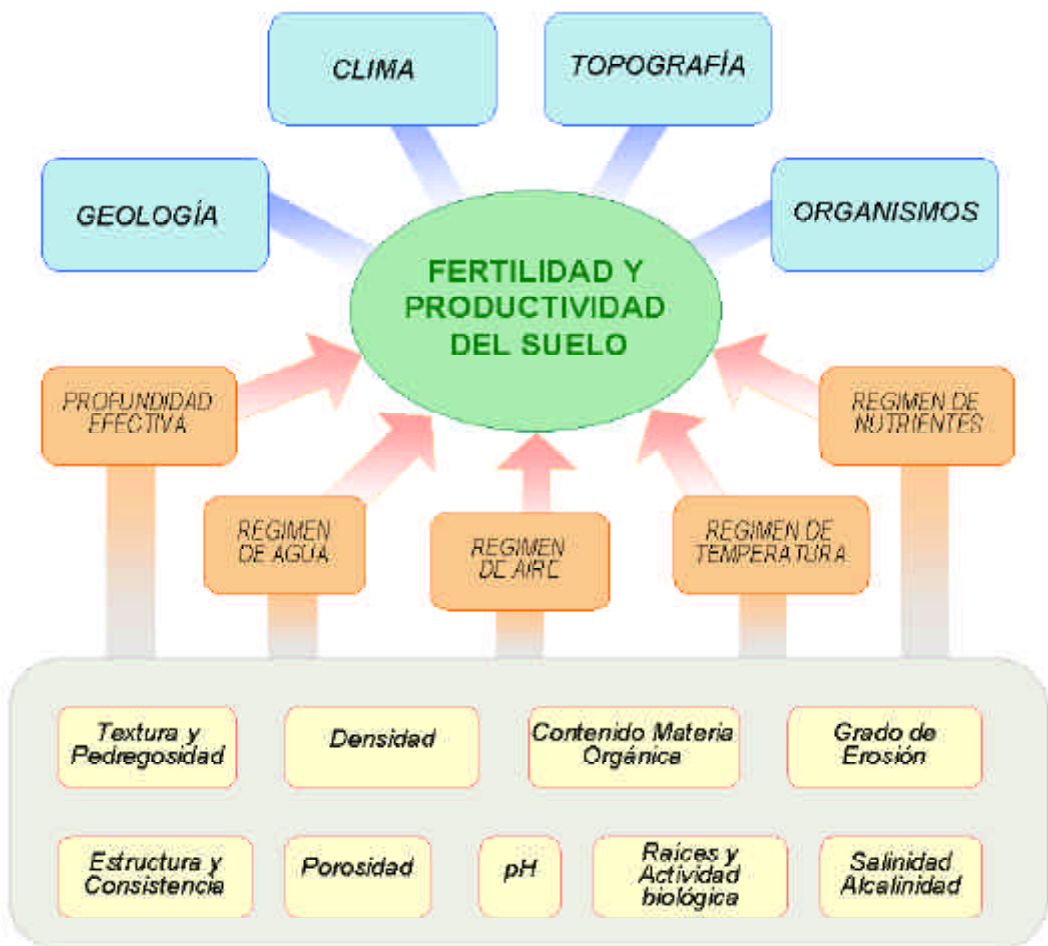
- La conservación del suelo forestal implica conocer las propiedades y condiciones que definen la fertilidad y el comportamiento mecánico del suelo para adecuar las actividades o acciones que determinan su uso, de forma de no causar cambios de importancia en sus propiedades y funciones. En este contexto, el **concepto de conservación del suelo forestal** debe entenderse como el **mantenimiento en el largo plazo, de la productividad del suelo sometido a una condición de uso a través de las actividades de manejo forestal** (Gayoso, 1997).

3.2 Propiedades del Suelo

- El suelo constituye la matriz que brinda gran parte de los elementos que requieren las plantas para vivir, por lo que es de vital importancia para el ecosistema forestal. Suministra el agua y los nutrientes que las plantas necesitan, brinda el aire para las raíces y constituye el anclaje para las plantas y árboles.
- La productividad del suelo está determinada por el conjunto de sus características tanto físicas como químicas, que expresan la relación entre el suelo, el agua y las plantas que soportan.
- Cualquier influencia sobre sus propiedades o características, producida por las diversas actividades de manejo del recurso, redundará entonces en un cambio en la productividad del suelo, pudiendo afectar eventualmente en su conservación. Esto hace necesario conocer las **principales características** ligadas a su conservación así como los **métodos de medición** o cuantificación objetiva que permitan detectar cambios que respondan al uso del suelo por actividades ligadas a la producción silvícola.

- Las propiedades físicas de los suelos son atributos medibles que pueden ser usados para predecir la forma en cómo reaccionará o comportará el suelo cuando se encuentre sometido a esfuerzos. Además, las características físicas determinan la relación entre suelo, aire, agua, materia orgánica y las plantas y árboles que sustentan.

- La fertilidad de un suelo, en relación con su productividad, depende directamente de sus características o propiedades:



- Estas propiedades físicas pueden agruparse en **propiedades de las partículas** y **propiedades del suelo como masa o agregado**. Es así como las propiedades como color, forma, granulometría y plasticidad son propiedades inherente a la naturaleza de los granos individuales, independientes de la forma en que ellos se agrupan,

mientras que las propiedades como el contenido de humedad natural, porosidad, densidad aparente, permeabilidad y capacidad de soporte dependen de la estructura y acomodamiento de las partículas en la masa del suelo.

- Un compendio de las **propiedades del suelo relevantes para su conservación** en las cuales las actividades de producción forestal tienen incidencia, así como métodos para su cuantificación objetiva se entregan en el Anexo B. En relación con las principales características en los suelos forestales más importantes de Chile, éstas se presentan en el Anexo C.

3.3 Procesos de degradación de suelos generados por actividades forestales

- En general, la silvicultura realizada mediante **prácticas de manejo adecuadas** tiende a producir **efectos relativamente benéficos en los suelos** en comparación con otros usos de la tierra. La cobertura del bosque tiende a prevenir la erosión, favoreciendo a la acumulación de materia orgánica en el suelo y a la conservación de sus nutrientes. El manejo de los bosques debe incluir dentro de sus objetivos la mantención de estas funciones y el valor ambiental de los suelos.
- No obstante, la creciente mecanización de las actividades de cosecha, sumada a la disminución de los períodos de rotación, pueden llevar a un deterioro en las propiedades ligadas a la productividad del suelo forestal.
- El espacio de **influencia de los procesos de degradación de suelos** generalmente trasciende el área de alteración aparente, ampliando su efecto hacia otros componentes ambientales aparte del suelo, ya que estos procesos pueden implicar:
 - Deterioro en la **calidad físico-química de las aguas** del ecosistema forestal
 - Sedimentación de **cauces**
 - Alteraciones en el **balance hídrico**

→ Perjuicios en la **capacidad de uso de las aguas**, tales como la obstrucción de obras de drenaje y riego o reducción de vida útil de embalses

→ Impactos negativos en el **paisaje**

- Bajo la perspectiva de la sensibilidad del terreno a sufrir alteraciones en relación con las prácticas de producción silvícola, los **principales procesos de degradación del suelo** comprenden la **extracción de nutrientes**, la **compactación**, la **erosión** y el **deslizamiento** (Gayoso y Muñoz, 1997; Worrell y Hampson, 1997).

- Los factores y características del sitio interactúan y determinan de diversa forma el nivel de susceptibilidad a los procesos de degradación. A continuación se presentan **grados de influencia relativa en los procesos de degradación de los suelos**, según Lewis *et al* (1991), con valores entre (1), menos determinante y (3), más determinante de cada proceso de degradación:

<i>Factor influyente en los procesos de degradación</i>	<i>Compactación</i>	<i>Erosión</i>	<i>Deslizamiento</i>	<i>Remoción</i>
• <i>Clima</i>	1	3	3	
• <i>Humedad Actual del Suelo</i>	3	2	3	
• <i>Pendiente</i>	2	3	3	3
• <i>Textura</i>	3	3	3	2
• <i>Pedregosidad o Esqueleto</i>	3	3	2	2
• <i>Humus u Hojarasca</i>	2	3		
• <i>Tipo de Vegetación</i>	2	2		
• <i>Profundidad efectiva del suelo</i>		2	3	3
• <i>Presencia de cárcavas</i>		2	3	3
• <i>Deslizamientos anteriores</i>			3	
• <i>Napa freática</i>	3	2	3	2
• <i>Elementos químicos</i>				2
• <i>Cursos de agua</i>		3	2	

- Las prácticas forestales pueden potencialmente afectar la fertilidad del suelo, a través de distintos efectos en el balance químico del suelo, contenido de materia orgánica, reservas de nutrientes del suelo y diversos impactos a las propiedades físicas del suelo. Esto puede significar una reducción en los rendimientos futuros de madera al afectar la productividad del sitio.

- Existen informes sobre evaluación ambiental y determinación de costos ambientales (Gayoso, 1996; Acuña, 1997), los cuales señalan que los principales impactos sobre el suelo en las plantaciones forestales aparecen vinculados a:

- una **inadecuada planificación**, construcción y mantenimiento de caminos.
- el empleo de **quema** como práctica de preparación de sitios.
- madereo terrestre realizado en **temporada húmeda**.

- Los impactos de remoción, compactación y erosión del suelo, determinan:

- a) pérdida de **superficie** productiva
- b) disminución de la **productividad** del sitio
- c) generación de **sedimentos**

- Las **pérdidas de productividad del suelo** generadas por las alteraciones producto de la cosecha puede alcanzar niveles de hasta **20 a 50%**, ante situaciones de hasta de un 600 a 900 m/ha de huellas de madereo, cubriendo de 20 a 40% de la superficie total cosechada, con un aumento de la densidad aparente en las huellas de madereo del orden de 1,85 veces la densidad aparente control (Gayoso et al, 1991).

- El **valor de tolerancia** considerado para las alteraciones del suelo es de **2 ton/ha/año**, el cual corresponde al valor teórico de compensación por procesos naturales de meteorización del suelo.

- Las alteraciones provocadas por cosecha mediante tala rasa, ante una situación promedio de madereo con skidder, con posterior quema de los residuos, pueden provocar una pérdida de suelo al año posterior de la cosecha del orden de 1,89 a 3,12 ton/ha en

sitios con pendiente de 8 a 18%, registradas en parcelas de poca extensión, e incluso llegar a valores altísimos del orden de 55 a 120 ton/ha de suelo perdido al año siguiente de la cosecha, con laderas de extensión mayor a 150 m de largo y pendientes entre 25 y 30%, en suelos de muy alta fragilidad.

- Algunos valores de pérdidas de suelo registradas al año siguiente de la cosecha según Alvarez (1988) e Iroumé (1989), son:

Zona	Ladera		Pérdida de suelo al año siguiente de cosecha (ton/ha)
	Largo (m)	Pendiente (%)	
VIII Región	100	20	0,029
	800	60	0,564
X Región		30	1,563
		50	1,875
		60	3,926
		8-18	1,89 - 3,12
	>150	25-30	5 - 120

- Cabe destacar que el volumen de pérdida de suelo registrados al primer año luego de la cosecha, disminuyen considerablemente durante los años siguientes, cuando el terreno se recubre del suelo con vegetación herbácea y a medida se consolida la nueva plantación establecida con la mayor prontitud tras la cosecha.

3.3.1 Extracción de nutrientes

- Consiste en el **quiebre del balance de elementos nutritivos, producto del agotamiento** por el consumo de ciertos nutrientes, sin que ocurran mecanismos que garanticen su reposición en el suelo.
- Esto puede ocurrir al emplear **sistemas de cosecha que remueven del sitio gran parte de la copa**, tal es el caso de la técnica de cosecha a árbol entero, en el cual se exporta la copa del lugar, conteniendo la biomasa de mayor concentración de los nutrientes.
- Este tipo de degradación puede verse acentuada en **sitios con deficiencias** en los regímenes de ciertos nutrientes y cuando se trata de **especies forestales de alta tasa de crecimiento**, con **períodos de rotación cortos**.

- Por otra parte, el balance nutricional puede resultar seriamente perjudicado en el largo plazo producto del **empleo del fuego** en la preparación del sitio, pudiendo llegar a **situaciones graves en suelos con bajo contenido de materia orgánica**.

3.3.2 Compactación

- Proceso mecánico que genera un **aumento de la densidad del suelo** por una reorganización de las partículas del suelo, en respuesta a la **aplicación de fuerzas externas** ejercidas por el tránsito de equipos en diversas labores y el **madereo** de las trozas durante la cosecha.
- La compactación afecta el **suelo superficial**, sección que almacena la mayor proporción de nutrientes, y en la cual se desarrolla la mayor parte de las raíces de los árboles (Smith y Norris, 1995).
- El aumento de la densidad **reduce la porosidad del suelo**, especialmente los poros mayores (macroporos), que juegan un importante rol para el crecimiento de las raíces y desarrollo de la flora y fauna del suelo.
- En relación con lo anterior, se produce un aumento de la cohesión y resistencia al corte, dificultando el desarrollo radicular.
- Además, ocurre una **disminución de la permeabilidad**, al disminuir los macroporos, por lo cual se tiene menor disponibilidad de agua en el suelo, determinando un mayor escurrimiento superficial, lo que se traduce en un **aumento del riesgo de erosión**.
- El **grado de compactación** está determinado por:
 - a) Factores del **suelo**:
 - Espesor y naturaleza de la **hojarasca**, contenido de **materia orgánica** (más hojarasca y contenido de materia orgánica, menor compactación)

→ **Textura** (texturas más finas poseen una capacidad de compresión mayor)

→ **Estructura**

→ **Contenido de humedad** al momento de aplicación de las fuerzas o humedad actual del suelo (a mayor contenido de humedad, menor capacidad de soporte y mayor facilidad de compresión)

b) Factores de la **fuerza aplicada**:

→ Clase

→ Magnitud

→ Número de repeticiones

- El factor más crítico, que determina la severidad de la compactación, es generalmente el **contenido de humedad actual del suelo**. Ante condiciones de suelos saturados, la aplicación de fuerzas en el suelo se puede esperar que redunde en pérdida de los poros de drenaje y destrucción de la estructura del suelo.

3.3.3 Desplazamiento o remoción

- Esta categoría de alteración del suelo corresponde al **movimiento físico del material edáfico**, producto de actividades que implican una eventual exposición del suelo mineral, determinando procesos de desplazamiento y remoción del suelo.

- Las prácticas que pueden originar este tipo de alteración incluyen:

→ acción directa de **equipos de madereo** (surcos generados por neumáticos u orugas),

→ acción del **arrastre de las trozas** cosechadas

→ **pisoteo** de animales empleados en cosecha

→ **movimiento de volúmenes de tierra** en excavaciones u otras labores ligadas a la construcción de caminos forestales.

- En Chile se han registrado magnitudes de remoción por actividades de madereo, hasta del orden de 200 a 400 m³/ha (Gayoso, 1995).

- Para el caso de faenas ligadas a la construcción de caminos, los montos de remoción registrados fluctúan entre 2800 m³/km (ante

una condición de pendiente lateral 10%), y 34.500 m³/km (pendiente lateral 70%). Al considerar una situación promedio de 40% de pendiente, con una densidad de caminos de 30 a 50 m/ha, se traduce en pérdidas de suelo por este tipo de alteración, del orden de 400 a 700 m³/ha (Gayoso, 1995).

- Los **factores** determinantes del desplazamiento de suelo son:
 - **Pendiente** del terreno (a mayor pendiente, mayor riesgo de desplazamiento)
 - Forma de la **ladera**
 - Tipo de **madereo** en la cosecha
 - **Patrón de desplazamiento** de los equipos
 - **Ancho** y **longitud** de los caminos

- Este tipo de alteración se considera más severa mientras:
 - **mayor** sea el **volumen** de suelo desplazado
 - **menor** sea la **profundidad efectiva** del suelo en el área afectada.

- Para evitar mayores efectos adversos de este tipo de alteración sobre los cursos hídricos, es importante establecer **franjas de filtraje de sedimentos** o de protección, en sectores donde la remoción sea mayor (faenas de construcción de caminos), y a ambos costados de los cursos de agua, de una magnitud variable según la importancia del cauce.

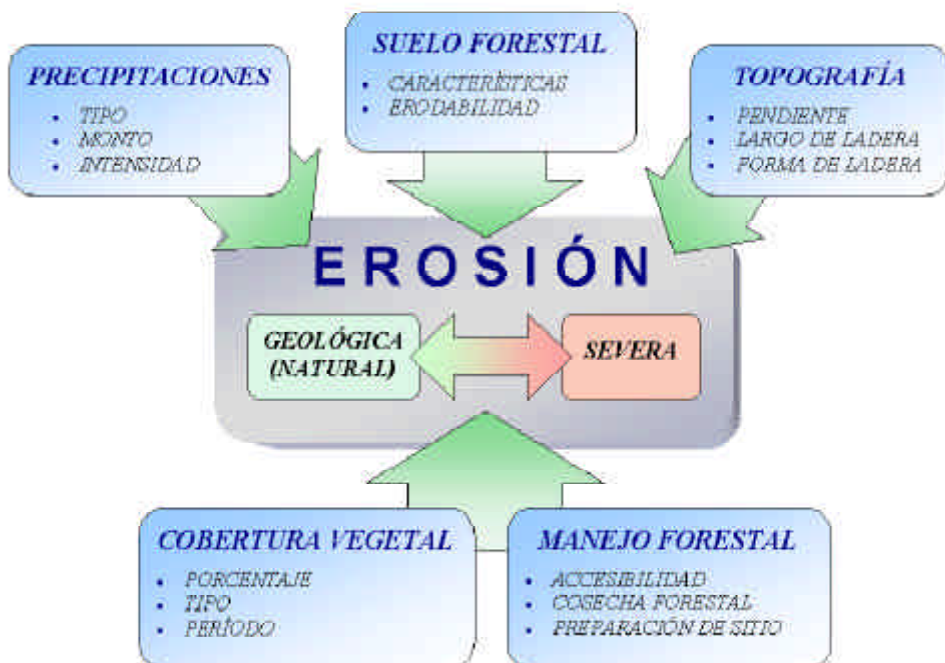
3.3.4 Erosión

- La erosión corresponde al **desgaste de la superficie del suelo** causada por acción de agentes geológicos como agua, gravedad, viento o hielo, a través de procesos naturales. En los suelos forestales es el agua el principal agente erosivo.

- La **erosión hídrica** consta de una dispersión de las partículas del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial, y posterior transporte de las partículas dispersadas. El transporte de los sedimentos generados propende a formar una superficie sellante, decrece la infiltración, incrementando

el escurrimiento superficial y por lo tanto la erosión del suelo. (Oyarzún, 1993)

- Se denomina **erosión severa** al desgaste del suelo que no se recupera de forma natural, y se considera la **principal amenaza para mantener la productividad** en el largo plazo en terrenos de uso forestal, especialmente aquellos de poca profundidad que poseen una muy baja tasa de formación de suelo.
- Los suelos forestales no sometidos a uso productivo, en general presentan un **equilibrio dinámico** entre formación del suelo y procesos de erosión, de manera que un suelo maduro puede presentar una profundidad constante durante un tiempo indefinido, si este balance no es perturbado. Sin embargo, este equilibrio puede ser fácilmente alterado por las actividades de producción forestal si en su planificación no se previene la erosión severa.






- La **erodabilidad** corresponde a la **susceptibilidad de un suelo a la erosión** y se considera una propiedad dinámica, que cambia según las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo dentro de las cuales destacan la granulometría, estabilidad de los agregados, y contenido de humedad actual del suelo (Hadley *et al*, 1985).

- Los factores que determinan los procesos de erosión hídrica son esencialmente:
 - características del **suelo**
 - características inherentes a las **precipitaciones**
 - factores **topográficos**
 - factores **vegetacionales** o de **manejo del sitio**

- Los **factores topográficos** que tienen influencia en la erosión hídrica son:
 - el **ángulo de la pendiente** (mientras más pronunciada, mayor severidad de la erosión)
 - el **largo de la ladera** (a mayor largo de la ladera, se incrementa la severidad de la erosión)
 - la **forma de la ladera**

- Según su magnitud, la erosión severa se puede manifestar en los siguientes tipos:

Erosión	Características	
<i>Laminar</i>	Consta del lavado de la capa más superficial del suelo.	
<i>Canalizada</i>	Cuando se produce una concentración del escurrimiento superficial en pequeños canalículos de hasta algunos centímetros de profundidad.	
<i>En cárcavas</i>	Remoción del suelo producto de una excesiva concentración de agua que causa la formación de grandes canales	

- En la estabilidad de los agregados, el contenido de materia orgánica del suelo juega un papel principal. Esto hace prioritario el ***mantener una cubierta de hojarasca o materia orgánica*** luego de cosechas por tala rasa. En este sentido, se puede esperar de 2 a 4 veces más pérdida de suelo cuando los residuos de la cosecha son eliminados por quema, que cuando éstos son arrumados en fajas.

- La erosión severa del suelo ocurre ante situaciones de eliminación de la cubierta vegetal por períodos de tiempo suficientes como para permitir la acción erosiva de las precipitaciones. Por esto, es necesario ***reforestar las áreas cosechadas con la mayor prontitud posible***, especialmente al emplear métodos como la tala rasa, y en superficies de extensión considerable.

- Prácticas forestales inadecuadas pueden contribuir a acelerar la erosión severa, producto de una falta de planificación en la construcción de los caminos, prácticas de madereo a través de quebradas, eliminación de franja o zona de protección de cursos de agua, o el tránsito de equipos con sentido perpendicular a las curvas de nivel, entre otros.

- Las pérdidas por erosión desde las cuencas manejadas para producción forestal, pueden prevenirse al seguir principios de:
 - Planificación cuidadosa de la ***red de accesibilidad***
 - Empleo de ***técnicas de arrastre de las trozas*** que minimicen la alteración física del suelo
 - Estimular un ***crecimiento vigoroso*** de las plantas establecidas que conformen la nueva cubierta vegetal.
 - Decisión de ***resguardar la cubierta vegetal*** en sitios de extrema fragilidad.

3.3.5 Deslizamiento

- Corresponde al ***movimiento del suelo*** producto de la fuerza de gravedad, y es un fenómeno corriente en la mayoría de los terrenos con pendientes fuertes.

- Esta inestabilidad puede verse **acrecentada por actividades** de construcción de caminos y métodos de cosecha que liberen de cubierta vegetal superficies considerables, como la tala rasa.
- En el caso de la construcción de caminos, este tipo de alteración modifica el equilibrio de fuerzas en los taludes, originados por la confección de cortes y rellenos.
- La cosecha mediante métodos como la tala rasa en extensas superficies continuas, disminuye o anula el efecto positivo de retención que las raíces vivas brindan al suelo, y puede producir modificaciones en el nivel del agua freática, todo lo cual pueden favorecer eventuales deslizamientos.
- Entre los principales factores relacionados con la acción del deslizamiento, se cuentan:
 - **Topografía** (a mayor pendiente, mayor riesgo de deslizamiento)
 - **Contenido de humedad** del suelo (a mayor contenido de humedad del suelo por intervalos mayores de tiempo, mayor es el riesgo de deslizamientos)
 - Presencia de **cubierta vegetal** que brinde un sostén producto de su desarrollo radicular (su ausencia favorece al deslizamiento)
 - Registros de **deslizamientos anteriores**.

3.4 Determinación de niveles de fragilidad en suelos forestales

- La fragilidad de los suelos va asociada a la **susceptibilidad que presenta el ecosistema al deterioro**, producto de un desequilibrio entre los factores geomórficos, climáticos y vegetacionales que los conforman, con relación al uso que se hace de ellos (IREN, 1979).
- De acuerdo a lo anterior, un **suelo forestal frágil** es aquel que muestra riesgo de sufrir alteraciones con ocasión de actividades de producción forestal, que afecten adversamente la productividad futura del sitio (Gayoso e Iroumé, 1991).

- Se habla de **alteración que afecta significativamente la productividad futura del suelo** y del sitio, aquella que incluye procesos de erosión, compactación, remoción, amasado o desplazamiento, así como el agotamiento de nutrientes, la variación del nivel de la napa freática, retracción y compactación por desecamiento, variación del microclima, provocando efectos sobre la microflora y microfauna, y efectos indirectos sobre áreas adyacentes (Lewis *et al*, 1991; Gayoso e Iroumé, 1996).

- Con el objeto de determinar el nivel de fragilidad de los suelos por medio de parámetros cuantitativos que expresen, a continuación se presentan dos alternativas de **metodologías** para ello.

3.4.1 Ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)

- Para propósitos prácticos, tales como planificación del uso de la tierra y el desarrollo de estrategias de conservación, es necesario **estimar las tasas de erosión del suelo** e **identificar situaciones especialmente vulnerables** a las pérdidas de suelo debido a la erosión (Oyarzún, 1993)

- La erosión acelerada causa efectos dañinos al sitio, estos efectos incluyen una disminución de la productividad como consecuencia de pérdidas de nutrientes, materia orgánica, y parte del suelo mineral (Lewis *et al*, 1991).

- Resulta de importancia la **identificación de las áreas frágiles o sensibles a la erosión**, para emplear en ellas, estrategias de manejo apropiadas que consideren el empleo de prácticas de acuerdo a su nivel de fragilidad.

- Para estimar el **riesgo a la erosión** de un área particular, se debe considerar:

a) Erodabilidad del suelo: Influida principalmente por las propiedades del suelo de textura, densidad, estructura, y estabilidad de los agregados (Swanson, 1974)

b) Erosividad de las precipitaciones. Se refiere a la magnitud de las fuerzas erosivas, la cual está determinada por el drenaje externo o escurrimiento superficial (que a su vez depende de la frecuencia,

intensidad y duración de las lluvias y de la permeabilidad del suelo) y la energía cinética asociada (que depende de la pendiente (Wischmeier, 1959).

- El método para estimar de erosión del suelo más usado es el **USLE** o **Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo** (Wischmeier y Smith, 1978):

$$A \text{ (ton/ha/año)} = R K L S C P$$

Factor	Significado
A	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de suelo calculada en una unidad de superficie por el intervalo de tiempo representado por el factor R. • Se expresa en ton/ha/año.
R	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de precipitación y escurrimiento superficial. • Refleja el potencial erosivo de las precipitaciones.
K	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de erodabilidad del suelo definido como la pérdida de suelo en ton/ha/año, por unidad de índice de erosión.
L	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de longitud de la ladera.
S	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de pendiente de la ladera.
C	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de cobertura vegetal o de manejo del recurso.
P	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de prácticas de conservación o control erosivo.

- El sistema de clasificación de los niveles de erosión más empleado corresponde al **Sistema de Clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los E.E.U.U.** (USDA, SCS Soil Survey Manual, 1980), que contempla cuatro niveles de erosión:

Clase	Nivel de Erosión	
1	<i>Sin erosión o Erosión ligera</i>	<i>Agrupar suelos que han perdido parte del horizonte "A" original, pero en porcentajes inferiores al 25%.</i>
2	<i>Erosión moderada</i>	<i>Suelos que han perdido entre un 25 a un 75% de la profundidad del horizonte "A" original. En su mayor parte, la estrata superficial consiste en una mezcla del horizonte "A" y de la estrata que los subyace.</i>
3	<i>Erosión severa</i>	<i>Suelos que han perdido más del 75% del horizonte "A" original. En su mayor parte, la capa arable consiste enteramente o en gran medida, del material que subyacía al horizonte "A".</i>
4	<i>Erosión muy severa</i>	<i>Estos suelos han perdido todo el horizonte "A", más parte o todo el horizonte inmediatamente inferior. La mayor parte de estas áreas pueden presentar un intrincado patrón de cárcavas.</i>

3.4.2 Metodología multicriterio y claves para fragilidad de suelos forestales (UACH)

- Este método permite estimar el nivel de susceptibilidad a la degradación de los suelos sometidos a procesos de actividades de producción forestal (Gayoso e Iroumé, 1991; Gayoso y Muñoz, 1997).
- Consta de un proceso interpretativo que utiliza pautas de fácil aplicación, y contempla los riesgos de compactación, remoción, erosión y deslizamiento del suelo, basado en la experiencia canadiense del Ministerio de Bosques de British Columbia.
- El método consiste en el desarrollo de un **índice numérico** que se deriva a partir de los valores absolutos de las variables físicas, los que normalizados a una escala ordinal común y por medio de análisis multicriterio, permiten clasificar el riesgo para cada proceso de degradación y uno global.

Riesgo de degradación	Índice
<i>Deslizamiento (ld)</i>	$s^{0.50} p^{0.10} h^{0.10} r^{0.30}$
<i>Erosión (le)</i>	$s^{0.45} p^{0.10} t^{0.35} r^{0.10}$
<i>Remoción por Madereo (lr)</i>	$r^{0.40} t^{0.20} d^{0.40}$
<i>Compactación (lc)</i>	$p^{0.10} t^{0.40} r^{0.10} d^{0.40}$

donde:

- p : profundidad del suelo
- s : pendiente del terreno
- t : textura del suelo
- r : precipitaciones
- d : densidad del suelo
- h : drenaje interno del suelo

- El resultado es un **valor de fragilidad potencial** intrínseca de un sitio para un determinado tipo de degradación y condiciones de cosecha que consideran tala rasa y madereo terrestre.

Notas de clase correspondientes a los valores de las variables

Nota	Profundidad (cm)	Precipitac. (mm/año)	Drenaje interno	Textura	Densidad	Pendiente (%)
1	> 90	< 600	<i>Imperfecto</i>	<i>Fragmentos roca</i>	<i>Muy denso</i>	0 - 15
2,5	90-60	600-1200	<i>Lento</i>	<i>Ripios y arenas gruesas</i>	<i>Denso</i>	15 - 30
5	60-45	1200-1800	<i>Moderado</i>	<i>Arenas finas</i>	<i>Medio</i>	30 - 45
7,5	45-30	1800-2400	<i>Bueno</i>	<i>Limos y arcillas baja plasticidad</i>	<i>Blando</i>	45 - 60
10	< 30	> 2400	<i>Excesivo</i>	<i>Limos y arcillas alta plasticidad</i>	<i>Muy blando</i>	> 60

- El método considera además modificaciones al nivel de fragilidad ante condiciones especiales del sitio y diferentes prácticas de manejo forestal.
- Para obtener el valor de fragilidad corregida, corresponde aplicar de manera individual a cada nivel de riesgo un conjunto de modificadores, sumando o descontando categorías o grados en la escala de significado.
- Los modificadores incluidos, se tratan en forma agrupada, pudiendo seleccionarse sólo uno de cada grupo. Para facilitar el cálculo del índice y el análisis de la fragilidad en terreno, se han desarrollado pautas de observación con escalas directas de transformación de los valores absolutos a escala ordinal y nomogramas para cada riesgo de degradación.
- La pauta para la evaluación de la fragilidad de los suelos forestales siguiendo el método descrito, se presenta en Anexo A.
- Los siguientes son los grados o niveles de fragilidad según este método (Gayoso y Muñoz, 1997):

¹ Excepto para erosión, pendientes >45% toman nota de clase 10.

Grados o niveles de fragilidad de los suelos forestales

Muy Baja

- Sitios donde no será posible apreciar cambios atribuibles a las operaciones de cosecha.

Baja

- Presentan un bajo riesgo a los deslizamientos, remoción del suelo, erosión superficial y compactación.
- Tienden a estar en pendientes suaves a moderadas con suelos profundos.
- Skidders sobre orugas usados bajo condiciones favorables y con adecuada planificación y supervisión causan una degradación relativamente menor del sitio.
- Las operaciones normales de cosecha son apropiadas con escasas o nulas restricciones.

Moderada

- Sitios moderadamente susceptibles a la degradación, tienen uno o más índices de riesgo moderados.
- Generalmente se presentan en pendientes suaves a moderadas con suelos profundos.
- El madereo terrestre puede impactar moderadamente estos sitios.
- La construcción de caminos puede generar fallas menores en taludes y cierta erosión superficial.
- En pendientes moderadas, la degradación de sitios puede ser consecuencia de remoción de suelos y exposición de subsuelo.
- En pendientes suaves, puede ocurrir degradación por compactación y amasado del suelo.
- Se sugieren ciertas modificaciones o restricciones a la práctica de cosecha para minimizar los impactos (madereo exclusivamente en condición de suelos secos o frescos, minimización de excavaciones durante la construcción de vías de saca, empleo de skidders con neumáticos de alta flotación o tractores sobre orugas de baja presión al suelo).

Alta

- Sitios altamente susceptibles a la degradación, tienen uno o más niveles de alto riesgo.
- Ocupan un amplio rango de pendientes², desde sitios muy abruptos susceptibles a deslizamiento, a pendientes suaves con suelos arcillosos particularmente susceptibles a compactación.
- Se incluyen en esta categoría los suelos delgados.
- El madereo terrestre con skidders sobre neumáticos o tractores oruga, aún en condiciones secas, tiene el potencial de causar una gran cantidad de degradación al sitio y considerables pérdidas de productividad forestal en el largo plazo.

(continúa en la página siguiente)

² Según esta clasificación, se considera pendientes suaves (<30%), moderadas (30% a 45%), abruptas (45% a 60%) y muy abruptas (>60%).

Alta (continuación de la página anterior)

- *En pendientes abruptas, el madereo y la construcción de caminos causan excesivo desplazamiento de suelo, fallas de taludes o erosión superficial.*
- *En pendientes suaves a moderadas, el madereo produce compactación o amasado.*
- *Presentan severas restricciones para las prácticas de cosecha: las estrategias para minimizar el impacto de la cosecha incluyen madereo con equipos de baja presión, planificación anticipada de vías de saca, empleo de sistemas de madereo con cables y cortas selectivas, que mantengan niveles de cobertura del suelo para evitar la erosión por acción hídrica.*

Muy Alta

- *Sitios que tienen muy alta o grave susceptibilidad a la degradación*
- *Presentan un grave riesgo de erosión superficial o al desplazamiento, remoción y amasado del suelo.*
- *Estos sitios tienden a presentar pendientes abruptas o muy abruptas y corresponden a suelos delgados.*
- *Madereo terrestre puede causar grave degradación del sitio y una pérdida grave en la productividad forestal en el largo plazo.*
- *Aún el uso de sistemas de madereo con cables puede causar degradación sobre algunos sitios extremadamente frágiles.*
- *Se incluyen en esta categoría los suelos extremadamente húmedos y planos.*
- *La construcción de caminos puede causar fallas extensas en taludes y erosión superficial extensa, significando eventuales altos costos de mantenimiento y rehabilitación.*
- *Estos sitios deberían ser clasificados como ambientalmente restrictivos y en consecuencia definidos como áreas de protección.*
- *Cortas selectivas o protección, deberían restringirse mientras no se investigue o conozca con certeza las posibles consecuencias de la intervención.*

4. MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS FORESTALES

- Las medidas propuestas a continuación son de carácter general, y no deben ser interpretadas como prescripciones obligatorias. Cada situación debe ser evaluada de forma específica, con el objeto de identificar los problemas existentes y determinar las posibles soluciones.

4.1 Conservación del suelo en la planificación de las faenas forestales

- En el contexto de la planificación de las actividades forestales que integran el ciclo productivo forestal, es necesario considerar ciertos aspectos que comprometan la conservación de la productividad de los suelos en el largo plazo.

4.1.1 Información previa

- La planificación de las actividades tanto de cosecha de bosques, construcción de caminos, así como también la preparación del sitio previo al establecimiento, requieren de información actualizada del estado del recurso suelo, para una correcta toma de decisiones que propenda a la conservación de la productividad del suelo, según su condición específica de fragilidad.
- La cartografía e información requerida debe proporcionar una correcta representación visual de las condiciones físicas y de la planificación de los rodales a intervenir por las actividades.
- Es aconsejable manejar la información en cartografía a escala 1:10000 que considere:
 - Nivel de detalle dependiendo de la topografía de los rodales y la complejidad de la actividad de cosecha planificada para el área (el nivel más básico debe mostrar información sobre la cubierta forestal existente y curvas de nivel cada 10 m).

- Límites del rodal y de sistemas de cosecha a emplear.
- Zonificación por riesgo potencial a erosión, remoción y deslizamiento, determinando de esa manera los distintos niveles de fragilidad de los suelos presentes en el área, siguiendo la pauta del Anexo A.
- Ubicación de cárcavas y su zona potencial de actividad, de exclusión de cualquier tipo de intervención.
- Áreas que no deben ser intervenidas debido a restricciones especiales de conservación.
- Estructuras de acceso permanente (caminos, puentes, alcantarilla, cruces de cauce, canchas, vías de saca planificadas).

4.1.2 Preparación del sitio

- Planifique las actividades de preparación de sitio de manera de modificar el sitio hacia una condición mejor del suelo (estructura, capacidad de agua aprovechable, régimen de nutrientes)
- Las prácticas de preparación del sitio no deben originar procesos erosivos ni alterar de manera indeseada las propiedades del suelo del área a tratar.



- Se debe planificar una pronta reforestación de los sitios cosechados, lo cual es fundamental para:

- minimizar la erosión del suelo
- mantener la productividad del suelo a largo plazo
- proteger y recuperar los valores del ecosistema forestal

- Planifique las técnicas de preparación de sitio más apropiadas de acuerdo al tipo y condición de los suelos del área, considerando la zonificación por fragilidad según riesgo potencial a la erosión, remoción o deslizamiento.

- Organice las labores de preparación de sitios, de manera de reducir al mínimo el número de entradas al sitio con maquinaria.

4.1.3 Cosecha forestal

- Al planificar las actividades de cosecha, considere minimizar el impacto de ellas sobre el suelo en largo plazo, resguardando siempre la productividad del sitio.

- En cortas por tala rasa, se debe restringir el tamaño de las unidades de cosecha, de modo de disminuir los impactos negativos en el sitio cosechado y el sector adyacente.

- La localización de vías de saca y canchas debe ser planificada de manera previa, y quedar claramente señalada en el mapa y en terreno, asegurando que los operarios de maquinaria encargados de seguirlas, conozcan la localización exacta de su trazado.

- Al planificar, procure reservar los terrenos de mayor fragilidad para ser cosechados en temporada estival, para así minimizar la afectación del suelo cuando éste se encuentra con alto contenido de humedad.

4.1.4 Caminos forestales

- El trazado de la red de accesibilidad debe considerar la zonificación por riesgo potencial a la erosión, remoción o deslizamiento, evitando la construcción de caminos en zonas identificadas como de alta o muy alta fragilidad.

- En la planificación de la construcción de la red de caminos, se deben considerar medidas de mitigación que minimicen la erosión en el área alterada.



- Adecue el trazado de la red de caminos a la topografía del terreno, con el objeto de minimizar el movimiento de tierra.

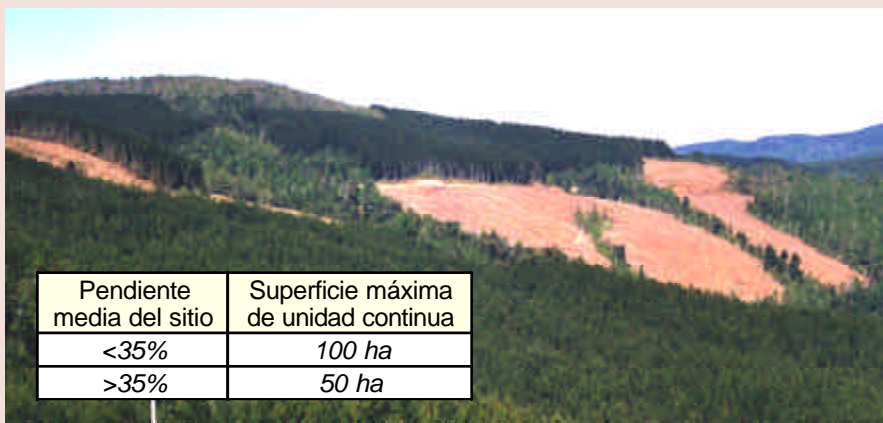
- Evite localizar caminos de media ladera en los siguientes casos:
 - a) Su extensión sea considerable, con pendientes pronunciadas y si el tipo de suelo presenta características que lo hacen inestable, o propensos a deslizamientos.
 - b) Suelos predominantemente de textura arcillosa, de alta plasticidad
 - c) Áreas de alta humedad
 - d) Laderas cóncavas
 - e) Suelos sobre material parental altamente meteorizado

- Al trazar caminos en valles o cerca de ellos, evite localizarlos al pie de laderas inestables o de mucha humedad.

4.2 Conservación de superficie de suelos forestales

- En la cosecha forestal, se debe procurar el empleo de una mínima extensión y número de vías de saca, canchas y caminos, para así limitar la superficie alterada.

- Con relación a la extensión de las unidades de manejo para cosecha mediante tala rasa y preparación de sitios con prácticas intensivas, considere un tamaño límite para la intervención:



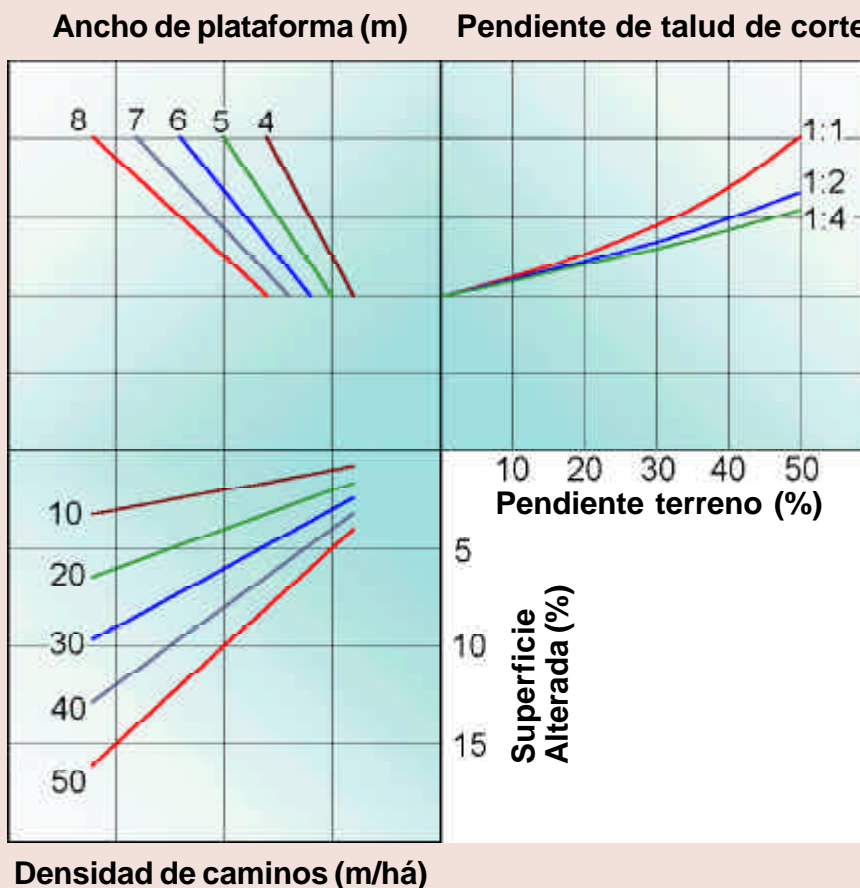
- Las zonas de corta a tala rasa en estas condiciones deberán estar separadas con zonas de bosque sin cortar, de una superficie equivalente. Estas áreas sin cortar podrán ser cosechadas cuando la plantación establecida adyacente alcance una altura de 3 m.

- En general, el área cubierta por vías de saca no debe exceder un 10% del área intervenida.

- Procure reducir al mínimo el número de canchas, las cuales preferentemente no debieran tener una superficie mayor a 0,10 ha (25 por 40 m, por ejemplo), incluidas áreas para acopio de madera.

- Una vez finalizada la cosecha, es necesario la desactivación de todas las vías de saca, para minimizar la superficie de suelo expuesta directamente a procesos de erosión y deslizamiento, y conservar la superficie productiva del suelo.

- El área alterada por la red de caminos no debe superar un 5% de la superficie manejada.
 - A continuación se presenta un nomograma que permite estimar el porcentaje de superficie alterada por los caminos, según las características del camino³ y pendiente del terreno:



- Considere y privilegie el uso y habilitación de caminos existentes, excepto en situaciones en las que su utilización pudiera provocar o agravar procesos erosivos
- Projete una densidad de caminos preferentemente no superior a 30 m/ha, evitando dar doble accesibilidad a los sitios a manejar.
- En la construcción del camino, minimice el ancho de la faja del camino, para reducir la superficie de suelo a alterar.

³ Condición de 100% de plataforma en corte y talud de derrame 1,5:1

- En la habilitación de terrenos, la superficie a despejar debe ser sólo la mínima que garantice el buen desarrollo de la plantación.
- De las diversas técnicas para manejo físico del suelo, privilegie aquellas que remuevan el mínimo de superficie, de preferencia sólo en la taza o área pequeña en la cual se plantará el árbol.
- Aquellos caminos que hayan cumplido su vida útil, o se consideren actualmente en exceso, deben ser desactivados, cuando no sea posible realizar un adecuado mantenimiento de su estado incluyendo sus obras de drenaje.
- Luego de la cosecha, las canchas deben ser mantenidas o en caso contrario, desactivadas, para prevenir el inicio de eventuales procesos de erosión a partir de ellas.

4.3 Prevención de la degradación física del suelo

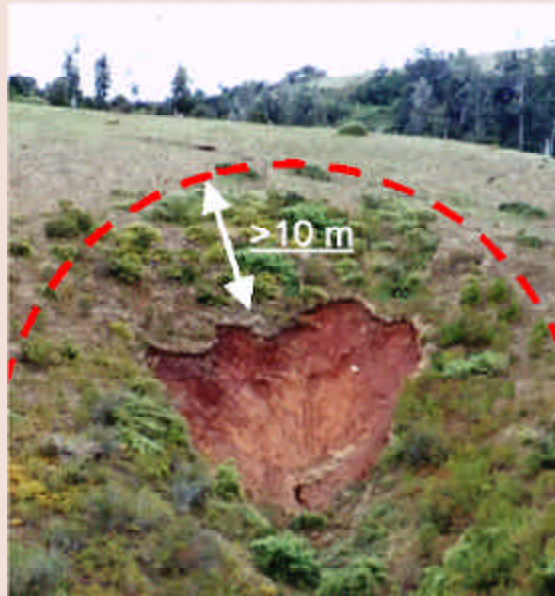
4.3.1 Preparación del sitio

- Procurar que las actividades de preparación de sitios se lleven a cabo sólo durante condiciones ambientales apropiadas, que aseguren un buen tránsito de maquinaria y permitan el cultivo físico del suelo sin impactarlo significativamente.

A. Limpia del sitio

- No remover la hojarasca del piso ni el suelo mineral durante labores de roce mecánico.
- Luego del roce del terreno, establecer lo más pronto posible la plantación, de modo de evitar el inicio de procesos erosivos por falta de cubierta vegetal.

- Ante la presencia de cárcavas en el sitio, mantenga una franja mayor a 10 m de ancho, con vegetación alrededor de ésta, especialmente sobre la cabecera de la cárcava.
- Además construya fosas alrededor, que tengan descargas para evitar la llegada del agua del escurrimiento superficial al interior de la cárcava.



B. Tratamiento de desechos forestales

- Para la conservación de las propiedades del suelo y prevenir la erosión, es necesario evitar el empleo de quemas de los desechos de cosecha en superficies extensas, siendo preferible tratar los desechos de cosecha, mediante un fraccionamiento y distribución homogénea de ellos en el sitio, o mediante confección de fajas.
- Respecto de las quemas controladas, tenga en cuenta que ellas:
 - alteran la estructura y pH del suelo
 - provocan pérdida de los principales nutrientes
 - redundan en una pérdida futura de la productividad del suelo
- En contraste, el ordenamiento de los desechos permite el reciclaje de los nutrientes en el sitio, así como la mantención de la materia orgánica, con los consecuentes beneficios para las propiedades del suelo.

- Considere la fragilidad del sitio en la elección de la técnica para el tratamiento mecánico de los desechos:

Fragilidad del suelo	Confección de faja o arrumado		
	Con bulldozers (mediante fresas)	Con excavadora	Manual
Muy baja a Media	<i>Sólo en pendientes <30 %, de preferencia siguiendo las curvas de nivel</i>	<i>Sólo en pendientes <40 %, de preferencia siguiendo las curvas de nivel</i>	<i>En pendientes >40 %, siguiendo las curvas de nivel</i>
Alta a Muy Alta	<i>Sólo en pendientes <20 %, siguiendo las curvas de nivel</i>	<i>Sólo en pendientes <30 %, preferible siguiendo las curvas de nivel</i>	

- Es importante no remover la totalidad de los desechos del sitio, ya que su distribución homogénea en el sitio favorece el reciclaje de nutrientes a partir de la materia orgánica, a la vez que propende un menor escurrimiento superficial, protegiendo al suelo y contribuyendo a la conservación de la humedad de éste.

- Por lo anterior, es muy recomendable el empleo de técnicas de mulching y el uso de equipos mulcher, que permiten la formación de una capa superficial protectora del suelo con los desechos.



- Al confeccionar las fajas o rumas, no debe removerse la hojarasca ni el suelo mineral, evitando la incorporación de éstos a la faja o ruma.

- Las fajas de desechos deben ser confeccionadas:
 - Paralelas a la curva de nivel (la pendiente de la faja debiera ser menor al 10%)
 - Ancho < 2 m
 - Altura < 1 m
 - Con separación entre fajas < 20m
 - Discontinuas o fraccionadas tanto como sea operativamente posible, con un máximo de sección continua de 50 m
 - La distancia entre fracciones de una misma faja, mayor a 1,5 m libre de desechos gruesos



- Si en ciertas áreas, por operatividad, debe confeccionar las fajas perpendiculares a la curva de nivel, en sitios con pendientes mayores al 20%, entonces al menos deberá:
 - hacer una faja paralela a la curva de nivel en el límite inferior de la unidad a fajear (más cercana a quebrada o curso de agua)
 - aún así, deberá hacer fajas paralelas a la curva de nivel cada 30 m.
- Ordene sólo los desechos gruesos, privilegiando la permanencia en el sitio de los desechos finos y medios, dispersos en el espacio entre las fajas, ya que éstos brindan protección al suelo.

- El empleo de equipo mecanizado en labores de ordenamiento de desechos, debe llevarse a cabo sólo si los suelos presentan bajo contenido de humedad, para prevenir impactos por compactación y remoción del suelo.

- El contratista o personal a cargo de la faena debe procurar la inmediata detención de las labores del equipo mecanizado, ante situaciones similares que las restrictivas de equipos de cosecha. Ver página 41.

C. Quema prescrita

- Si aún considerando los efectos de alto impacto adverso de la quema prescrita, debe realizarla, considere restricciones a su aplicación producto del nivel de fragilidad que presentan los suelos, según la tabla siguiente, en conjunto con:
 - No debe realizarse quemas de superficie completa en sitios con fragilidad muy alta ni alta, bajo ninguna circunstancia.
 - Emplee sólo fuego de intensidad media y mínima duración.
 - Ante la presencia de cárcavas en el sitio, de ninguna manera quemar el área 10 m alrededor de ellas.

Fragilidad del suelo	Posibilidad de quema completa de desechos	Quema en rumas
<i>Muy baja y Baja</i>	<i>Máx 50 há continuas</i>	<i>Hasta 30% de la superficie, homogéneamente distribuida</i>
<i>Media</i>	<i>Máx 30 há continuas</i>	<i>Hasta 20% de la superficie, homogéneamente distribuida</i>
<i>Alta y Muy Alta</i>	<i>Bajo ninguna condición</i>	<i>Bajo ninguna condición</i>



D. Manejo físico del suelo

- Las labores de cultivo físico del suelo, deben realizarse cuando éste tenga un bajo contenido de humedad, para mejores resultados y prevenir procesos erosivos e impactos por compactación y remoción.
- En la elección de la técnica del manejo físico, considere:

En tazas o encasillado

- *La superficie alterada es menor*
- *Por ser tratamiento discontinuo, previene erosión*

Confección de surco

- *Remoción poco profunda del suelo*
- *Necesidad de labores siguiendo curva de nivel (en caso contrario propende a erosión)*
- *Puede invertir los horizontes del perfil*

Subsolado

- *Aplicable sólo en suelos profundos (>1m)*
- *Remoción muy profunda del suelo (50 a 60 cm, favoreciendo la infiltración y mejora drenaje interno)*
- *Mayor necesidad de labores siguiendo curva de nivel (caso contrario propende a erosión)*
- *Generalmente no invierte los horizontes del perfil*

- El empleo de equipos pesados en la preparación física del sitio, está sometido a restricciones puesto que su uso en condiciones inadecuadas puede:
 - provocar compactación del suelo, ahuellamiento o el origen de pozas, que favorecen el inicio de procesos erosivos,
 - reducir la capacidad de aire y agua aprovechable del suelo

- Si se contempla confección de surco o subsolado, lleve a cabo las labores siguiendo las curvas de nivel (con pendiente <10%). En caso de no poder cumplir totalmente con este punto, prefiera alguna de manejo en tazas, o procure discontinuidad en el surco formado.

- Considere la fragilidad del sitio en la elección de la técnica para el tratamiento físico del suelo:

Fragilidad del suelo	Tratamiento físico del suelo		
	Tazas o Casillas	Surcado	Subsolado
Muy baja a Media	<i>Sólo en pendientes <40%</i>	<i>Sólo en pendientes <30%, de preferencia siguiendo las curvas de nivel</i>	<i>Sólo en pendientes <30%, de preferencia siguiendo las curvas de nivel</i>
Alta a Muy Alta	<i>Sólo en pendientes <30%</i>	<i>Sólo en pendientes <20%, siguiendo la curva de nivel</i>	<i>Sólo en pendientes <20%, siguiendo la curva de nivel</i>

- En sitios de pendiente >40%, cualquier tratamiento físico debe realizarse de forma manual.

- Privilegie la utilización de equipos con tecnología de bajo impacto que disminuya el riesgo de compactación y deslizamiento del suelo (equipos de zapata más ancha, y de menor peso).



- Al emplear equipo mecanizado en las labores de cultivo físico del suelo, planifique la operación evitando el paso del equipo por un mismo lugar en múltiples ocasiones.

E. Control de malezas

- Evite la remoción del suelo mineral o del piso del bosque durante la labor.

F. Labores de plantación

- Es preferible realizar las faenas de plantación manualmente, evitando la compactación del suelo por la maquinaria
- Para las faenas de plantación manual, las restricciones de labor ante condiciones de alta humedad del suelo son las mismas que para faenas de manejo físico del suelo con maquinaria.
- En sitios con pendiente superior o igual a 30%, o en sitios de clase de fragilidad de alta o muy alta, la plantación debe efectuarse exclusivamente de forma manual.
- La plantación con técnicas con equipos mecanizados es posible sólo en sitios con clase de fragilidad de moderada a muy baja y de pendiente inferior al 30%. En tal caso el equipo debe operar sólo siguiendo las curvas de nivel.

4.3.2 Cosecha Forestal

A. Selección y trabajo de equipos

- La selección de maquinaria debe considerar las condiciones de fragilidad del suelo y la capacidad de soporte del suelo, y directamente relacionada al contenido de humedad real del suelo al momento de la faena.
- A continuación, se presenta una pauta para la operación de maquinaria de cosecha según en nivel de fragilidad del suelo y su condición de humedad:

Clase de fragilidad del suelo ⁴	Equipo adecuado según fragilidad del suelo
<i>Muy Bajo</i>	C1-4
<i>Bajo</i>	C1-4
<i>Medio</i>	C1-4 (sólo C2-4 ante condición húmeda)
<i>Alto</i>	C3-4 (sólo C4 ante condición húmeda)
<i>Muy alto</i>	C4 - Madereo totalmente suspendido

Equipos		Presión	Ejemplo
C1	<i>Skidders convencionales incluyendo forwarders con neumáticos estándar</i>	60-140 kPa	<i>Forwarders, harvesters</i>
		50-80 kPa	<i>Skidders, tractores y cargadores de neumáticos, tractores de zapatas convencionales y cargadores con neumáticos de hasta 60 cm de ancho</i>
		40-70 kPa	<i>Tractores y cargadores con zapatas</i>
C2	<i>Equipos de alta flotación y baja presión sobre el suelo. Sistemas que usan cadenas en neumáticos y reducen la presión sobre el suelo</i>	<30 kPa	<i>Skidders de neumáticos anchos (promedio 100 cm)</i>
		30 - 40 kPa	<i>Tractores de zapata ancha, excavadoras con zapatas convencionales y algunos harvester sobre zapatas</i>
C3	<i>Equipamiento con zapatas anchas y flexibles. Rodillos montados sobre barras de torsión distribuyen la carga</i>	15 - 45 kPa	<i>Tractores orugas de alta velocidad</i>
C4	<i>Sistema de madereo con cables aéreos</i>	-	<i>Torres de madereo</i>

- Evitar el uso de equipos terrestres ante la condición de categoría de humedad actual del suelo de húmedo a saturado, para prevenir la erosión, remoción y compactación del suelo, al evitar ejercer esfuerzos al suelo en su condición de menor resistencia estructural.
- En sitios con cobertura de nieve, debe evitarse la extracción durante la época de su deshielo.

⁴ Según clasificación de Gayoso y Muñoz (1997).

- Después de una lluvia que produzca una condición de saturación en el suelo, es necesario esperar a que el contenido de humedad actual del suelo disminuya (que el suelo se seque), antes de reanudar las operaciones.

- El contratista o personal a cargo de la faena debe procurar la inmediata detención de las labores del equipo, ante una situación de:
 - a) Condición de suelo muy húmedo o saturado (si observa condición de suelo húmedo, esté alerta ante empeoramiento de las condiciones de humedad)
 - b) Esguerramiento superficial de agua turbia o barro visible, que fluya por más de 10 m.
 - c) Ahuellamiento causado por la maquinaria con una profundidad >20cm debajo del nivel original, en una sección de largo de al menos 15 m.

- Para reanudar las labores deberá esperar que:
 - a) el suelo retorne a una condición de contenido de menor humedad que la restrictiva
 - b) ya no se produzcan los impactos señalados

B. Técnicas de madereo

- Los operadores de skidders deben mantener la pala levantada durante la faena de madereo, lo cual evita remoción del suelo superficial.
- Si técnicamente es posible el madereo con cables, se debe privilegiar su empleo ante madereo terrestre, sobre todo en situaciones de suelos de baja capacidad de soporte o de alta fragilidad, ya que el primero produce una menor alteración sobre el suelo.

C. Vías de saca

- Se debe reducir al mínimo el movimiento de tierra al momento de construir las vías de saca, respetando siempre la planificación.
- En el diseño de las vías de saca, favorezca el madereo siguiendo en lo posible las curvas de nivel.



- En sectores de mucha humedad es aconsejable proteger las vías de saca con materiales leñosos, trozas o astillas de madera, de manera de permitir el tránsito de maquinaria, reduciendo la degradación del suelo.
- Las vías de saca deben ser peraltadas para canalizar las aguas y reducir el ahuellamiento. El peralte debe ser de un 2 - 6%, de modo de evitar el deslizamiento del escurrimiento a través de las huellas.
- Se deben realizar trabajos de construcción de drenajes en las vías de saca para evitar la acumulación de agua y escurrimiento.
- En suelos de moderada a alta fragilidad, las vías de saca deben ser adecuadamente drenadas después de la cosecha, para evitar la erosión del suelo en esa área.

- Las vías de saca pueden ser drenadas y rehabilitadas construyendo terrazas de 0,5 a 0,7 m de altura, de disposición transversal a la ladera, con un drenaje lateral que descargue el agua en zonas sin alteración, con el siguiente espaciamiento:

Gradiente de la vía de saca (%)	Espaciamiento del drenaje (m)
0 - 10	50
11 - 25	30
16 - 35	20
>35	No hay madereo terrestre

D. Canchas

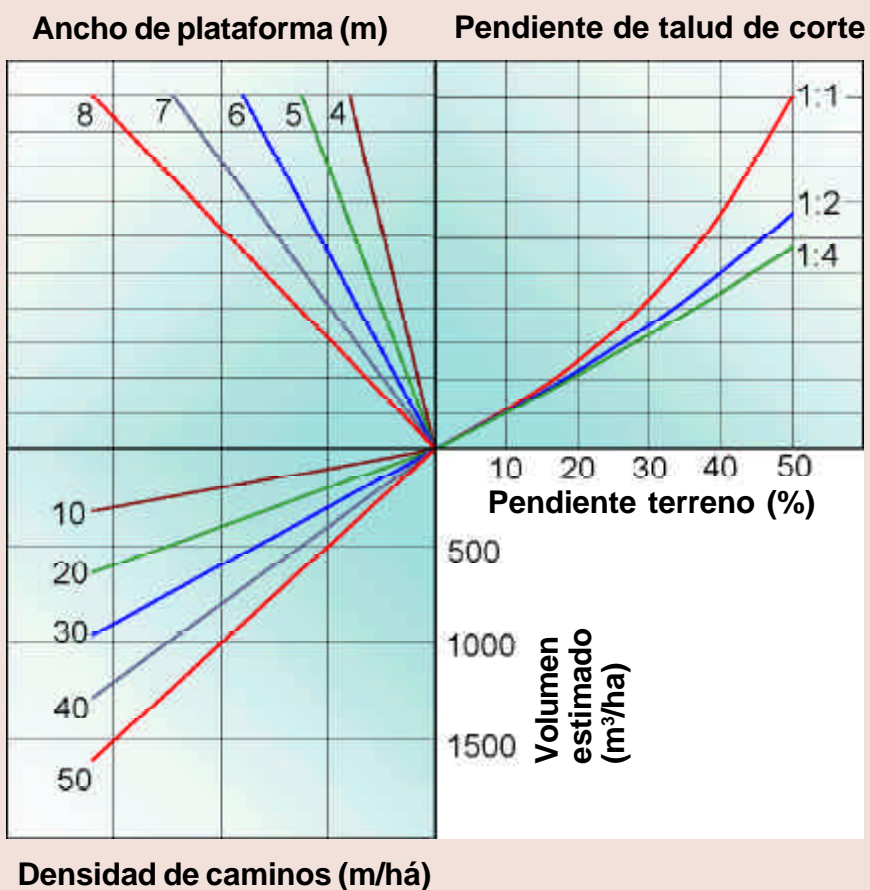
- Las canchas deben localizarse en lugares preferentemente de topografía plana, que minimice el volumen de suelo removido. Si éstas son utilizadas en temporada húmeda, deben ser estabilizadas empleando ripio, con un espesor de acuerdo al diseño, en general no inferior a 20 cm.
- La mantención de las canchas debe considerar estructuras de drenaje apropiadas que eviten el inicio de erosión a partir de ellas, y el eventual colapso del terreno en ellas.
- La desactivación de las canchas, para la prevención de eventuales procesos erosivos iniciados en ellas debe incluir:
 - Restablecimiento del contorno original de la cancha
 - Aplicación de técnicas de subsolado o surcado del suelo para la corrección de problemas de compactación en el lugar
 - Establecimiento de plantación en el lugar, la cual debe recibir el mismo tratamiento que el resto de la plantación



4.3.3 Caminos forestales

A. Diseño de caminos

- En el diseño del camino, procurar en lo posible que exista un balance entre el volumen de material de corte y relleno, minimizando así el movimiento de suelo. A continuación se presenta un nomograma para la estimación de eventuales volúmenes a remover según condiciones del camino y pendiente del terreno:



- Diseñar los taludes de corte y derrame en ángulos estables y proveer medidas adecuadas de estabilización, para prevenir fallas en ellos y reducir el riesgo de erosión. Este punto debe ser de acuerdo a la situación específica de la estabilidad de los suelos del área.

Ángulos de construcción de taludes de corte y derrame según tipos de suelo

Taludes de corte (cotangente)		Taludes de derrame (cotangente)	
<i>Suelos sueltos, arenas limosas</i>	1:1	<i>Arenas, limos y arcillas húmedas</i>	2:1
<i>Tierra común, Limos compactos</i>	1:2	<i>Común para la mayoría de los tipos de suelo</i>	1,5:1
<i>Conglomerados y materiales rocosos</i>	1:4	<i>Ripio suelto</i>	1:1

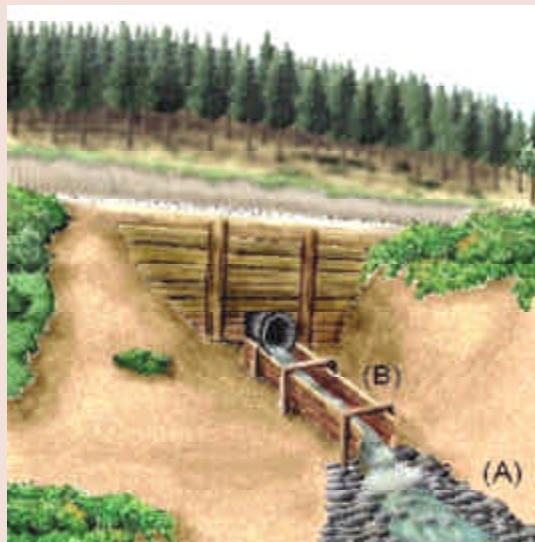
→ Diseñe taludes en terrazas o considere ángulos menores cuando se trate de taludes muy altos o con tipo de suelo inestable.

- Use muros de contención con sistemas adecuados de drenaje, de modo de reducir y controlar la cantidad de excavación y relleno. Se pueden construir derrames de mayor inclinación sin la necesidad de muros de contención sólo en si el suelo es estable y se cuentan con estructuras adecuadas para el control del agua.

- Diseñe sistemas de drenaje que minimicen la concentración del agua, previniendo de esta forma la erosión de la superficie del camino, cunetas y rellenos.

- Utilice revestimientos rocosos en los sectores de derrames por sobre las alcantarillas, de manera de evitar socavamientos que signifiquen el colapso de estas estructuras, y desencadene procesos de erosión del terreno circundante (A).

- Asimismo, se puede emplear canaletas o revestimientos para el transporte de agua de manera segura sobre el talud del derrame, para la descarga de cunetas (B).



B. Selección de equipos en construcción de caminos

- El equipo debe ajustarse a las condiciones del terreno, de tal modo que su operación genere el menor efecto ambiental posible:

Empleo de excavadora hidráulica ante:

- *Terrenos frágiles o dentro de la zona de manejo del cauce.*
- *Laderas de fuertes pendientes (>40%).*
- *Se deban construir taludes de corte de gran altura (> 4 m).*
- *Se trate de afloramientos rocosos que puedan ser reducidos con martillo hidráulico, evitándose el uso de explosivos.*
- *La terminación de taludes sea relevante respecto del perfilado del camino (riesgo de desmoronamiento o deslizamiento).*

Empleo de bulldozer ante:

- *Terrenos menos frágiles.*
- *Laderas menores al 40%.*
- *El perfilado del camino sea relevante sobre la terminación de los taludes.*

C. Construcción de caminos

- La construcción de caminos se debe efectuar en la temporada seca. Por ningún motivo debe efectuar movimiento de tierras en suelos saturados.
- Realice los trabajos de estabilización de la pendiente y los de control de erosión y sedimentos, simultáneamente al inicio de la construcción del camino. Esto incluye la instalación de los mecanismos de drenaje como parte del proceso constructivo.
- Complete o establezca las secciones del camino dentro de la misma temporada de construcción, asegurando el funcionamiento de los mecanismos de drenaje.

- El empleo de geotextiles, geogrillas o postes en envaralado, para separar y soportar el relleno, reduce el espesor requerido de la carpeta y mejora el mantenimiento estructural futuro, previniendo futuras alteraciones al suelo aledaño al camino.



- No entierre troncos o desechos orgánicos en los rellenos del camino, pues su posterior descomposición puede provocar socavamientos o derrumbes que redundarán en eventuales procesos erosivos.

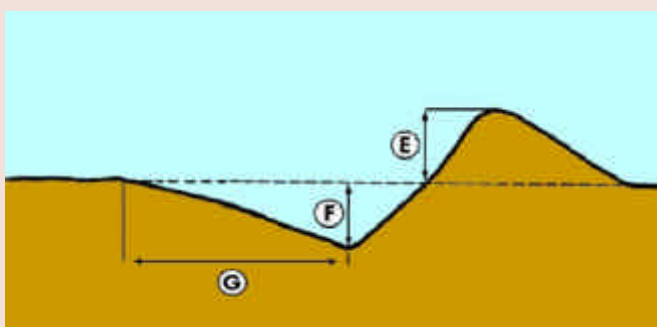
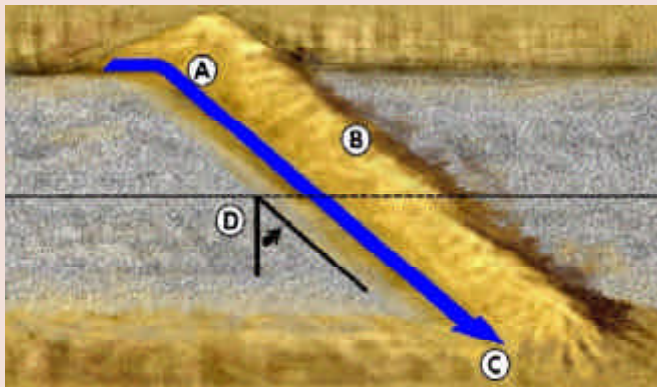
D. Mantenimiento

- Realizar revisiones y mantención de la red de caminos completa, tanto activos como inactivos, con el objeto de prevenir la erosión de la calzada. Esto es particularmente importante en el período previo a la temporada húmeda.
- Transportar hacia áreas seguras todo el material removido por las operaciones de mantenimiento. Si es necesario, aplique medidas de estabilización en estos sitios para prevenir que ocurra erosión y sedimentación.

E. Desactivación

- Una vez cumplida su vida útil, o si se consideran en exceso, los caminos deben ser desactivados, cuando no sea posible realizar un adecuado mantenimiento de su estado incluyendo sus obras de drenaje.

- Para una adecuada desactivación de los caminos, se debe:
 - Cerrar el camino al tránsito vehicular
 - Remover alcantarillas y puentes temporales, cuya mantención no se continuará, asegurándose de remover el material de relleno desde la parte baja del nivel de agua, hasta el nivel más alto del cauce. El material debe disponerse en lugares de botadero, o dispuesto con un ángulo estable de reposo, para evitar su deslizamiento.
 - Empleo de cunetas transversales, según diseño sugerido en la figura siguiente. La ubicación y espaciamiento de estas cunetas debiese ser similar a las correspondientes a las alcantarillas de descarga.
 - Si se contempla el levante de la carpeta de rodado, debe procurarse dejar una capa (5 a 7 cm) que prevenga el inicio de procesos erosivos en la superficie del camino.



A	Punto de unión de la excavación con la base del camino
B	Berma transversal de altura 30 a 60 cm
C	Salida del desagüe de 20 a 40 cm fuera del camino
D	Ángulo del desagüe 30° a 40° respecto de eje del camino (a favor de pendiente)
E	Altura < 60 cm
F	Profundidad 45 cm
G	90 a 120 cm

4.4 Mitigación de la degradación física de los suelos forestales

- Las actividades para mitigar impactos producidos por las actividades forestales, requieren de una evaluación de las condiciones de degradación del suelo y según área, para determinar el objetivo de la mitigación y técnicas a usar. A continuación se presenta un listado de medidas que contribuirán a la mitigación de la degradación física de los suelos, en general.

- En vías de saca que presenten ahuellamiento de más de 30 cm de profundidad y en una extensión de más de 20 m, considere rehabilitación con rellenos y estructuras de drenaje.



- Rehabilitar las canchas temporales una vez finalizadas las operaciones, y si es necesario debido a eventuales problemas de compactación, realizar el tratamiento físico del suelo que garantice el establecimiento de las plantas.

- En sectores cosechados, sin operaciones por más de 3 meses, las canchas deben ser drenadas y el agua que drena hacia ellas debe ser desviada hacia zonas con vegetación o hacia franjas atrapadoras de sedimento.

- Después de la construcción y antes de utilizar el camino, se deben estabilizar los suelos alterados y el material de derrame.

- Disponga de las medidas necesarias de recubrimiento y estabilización a fin de controlar la erosión superficial en taludes de corte y derrame.

- Se deben estabilizar los taludes antes de la temporada de lluvias, para ello se pueden aplicar técnicas de recubrimiento y estabilización como:

A. Vegetación

- Consiste en tareas de siembra y plantación
- La selección de la vegetación a establecer y temporada de la aplicación debe ser evaluada para cada sitio
- La preparación del sitio y fertilización son factores cruciales para el éxito de esta técnica.
- Algunos métodos de vegetación son:

→ **Hidrosiembra**

Rociado mediante bomba de una emulsión a base de semillas, agua, fertilizante, materiales que mejoran las características físicas y químicas del suelo, y sustancias que favorecen la adherencia de la mezcla.



→ **Fajinas de ladera**

Tendido de fajinas de plantas leñosas vivas de fácil enraizamiento en zanjas que siguen la curva de nivel, las cuales son fijadas al suelo mediante estacado, para luego ser cubiertas con tierra de manera que sólo una pequeña porción sobresalga del terreno.



→ **Mallas**

Sistema de doble malla que forma una sucesión de bolsones que al ser llenados con tierra permiten el establecimiento de vegetación.



B. Mulch

- Cualquier capa artificial o natural de residuos vegetales u otros materiales que cubren la superficie del talud y que proporciona beneficios adicionales a la siembra, mejora el régimen de temperatura del suelo y reduce las pérdidas de agua del suelo.
- Es importante que este material se encuentre en contacto directo con el suelo, para asegurar su efecto.

C. Obras civiles de estabilización

- Muros de contención y revestimientos, que pueden emplear gaviones y suelo armado con geomallas o geotextiles.



- Permiten dar estabilidad a taludes de corte y derrame.

- Deben planificarse medidas de mitigación necesarias para minimizar la erosión en el área alterada por la construcción de los caminos forestales.

- Algunas medidas para disminuir el desarrollo de cárcavas existentes son:

- Haga descargas más seguidas de cunetas, que reduzcan el escurrimiento superficial.
- En la medida de lo posible, rellene y recupere el área de la cárcava.
- Si esto no es posible, rebaje la pendiente de la cabecera de la cárcava a 45° , compacte y revista el lecho con material granular y piedras.

- Intercepte el escurrimiento superficial que llegue a la cárcava mediante un canal de alivio.
- Durante labores de limpieza del sitio previo al establecimiento, considere una franja de al menos 10 m alrededor de la cárcava, conservando la vegetación existente.
- Favorezca el depositar desechos de cosecha al interior de las cárcavas y en la zona aledaña a ellas.
- No se debe realizar ningún tipo de remoción física del suelo en una franja de al menos 10 m alrededor de cada cárcava, salvo para efectuar otras medidas de mitigación o prevención del ingreso del escurrimiento superficial a la cárcava.
- El uso de fuego como técnica de preparación de sitios es en zonas con presencia de cárcavas debiese estar restringido. En caso de no existir otra alternativa de tratamiento, procure no quemar bajo ninguna condición la franja de al menos 15 m alrededor de la cárcava.

- Al ordenar los desechos de cosecha, tenga especial atención con las huellas de madereo (éstas concentrarán agua con potencial erosivo). En éstas, construya fajas de desechos en curvas de nivel con la menor separación posible entre fajas o pilas.

- En sitios con fuerte impacto por huellas de madereo o compactados por faenas pasadas, se recomienda sembrar semillas de especies de pastos no nocivos o leguminosas que eviten la continuación de procesos erosivos iniciados en las huellas.

- Utilizar desechos de cosecha sobre la superficie de la cancha y vías de saca para aminorar impactos al suelo (restos de rumas de desechos quemados pueden brindar la misma utilidad).

- Realizar actividades de labranza para descompactar la cancha de madereo.

- El suelo mineral expuesto y los depósitos de ceniza son muy susceptibles a la erosión, por lo tanto, es necesario actuar rápidamente para controlar la erosión en áreas severamente quemadas.

- Las áreas quemadas pueden presentar deficiencias de nutrientes (especialmente nitrógeno y azufre) algunos años después de la quema. Considere fertilizar si la vegetación establecida presenta signos de deficiencia de nutrientes.

- Revegetar lo antes posible después de la alteración producida. La siembra de gramíneas y leguminosas es de gran utilidad para controlar la erosión superficial. Para establecer plantaciones sobre depósitos de cenizas, excavar tasas para plantar lo suficientemente hondas de manera de alcanzar suelo no dañado.

- Establecer especies vegetales herbáceas o arbustivas que contribuyan a fijar nitrógeno, ayudando así a reincorporar este elemento al suelo.

4.5 Prevención de la contaminación de los suelos forestales

- En la construcción de los caminos forestales no utilice agregados que contengan materiales peligrosos o con alto contenido de compuestos químicos.

- Los fertilizantes son compuestos químicos ajenos a la condición actual del ecosistema a tratar, por lo que su aplicación debe ser racional, y acorde con las necesidades de la especie y la disponibilidad nutricional del sitio particular.

- Asegúrese que no exista incompatibilidad química o posibles interacciones indeseadas entre los compuestos de los productos a aplicar en la fertilización.

- Procure que la dosis de fertilizante a emplear, considere las necesidades de la especie a plantar en relación con las deficiencias de cada sitio, preferentemente basado en análisis de suelos y foliares de las plantas, para así emplear sólo la cantidad requerida de fertilizante y no incorporar excesivamente compuestos químicos ajenos al suelo.

- Los envases o restos de productos fertilizantes nunca deben ser arrojados a cursos de agua ni áreas de protección ni en los rodales a tratar.

- Las herramientas, envases, bidones, tambores y otros utensilios para la manipulación de productos tóxicos (combustibles, aceites, lubricantes, así como también implementos de aplicación de plaguicidas o fungicidas), deben ser lavados sólo en sitios especialmente demarcados para tal fin.



- Es necesario establecer áreas para la mantención de vehículos y maquinaria en sectores determinados, así como para la carga, y almacenamiento del combustible, evitando realizar cualquier labor de mantención que pudiera implicar contaminar el suelo, en otra área que no sea la determinada para tal efecto.

- Los desechos de aceites y lubricantes deben ser dispuestos en receptáculos adecuados para su posterior disposición fuera del sitio.



- Se debe limitar la manipulación de sustancias químicas a sectores especialmente delimitados para tal fin, de manera de que cualquier posible foco de contaminación se concentre en un área fácil de manejar.

- Favorezca el empleo de productos químicos con sello verde.

- No emplear bajo ninguna condición productos químicos que no estén autorizados por el SAG, o estén prohibidos, como Dibromuro de etileno, Clordán, Dieldrin, Edrin, Heptacloro, Aldrín, Daminozoide, pesticidas a partir de sales de mercurio, Monofluoroacetato de sodio o DDT.

- En caso de derrames de algún producto químico líquido, evite su escurrimiento mediante la confección de canaletas alrededor del área afectada, y recogiendo el producto con aserrín, tierra seca o arena. Posteriormente, extraiga el material contaminado en un área segura especialmente delimitada para tal eventualidad, a un metro de profundidad y lejos de los cursos de agua.

- Tome todas las medidas posibles para evitar que desechos y basuras de cualquier tipo sean arrojadas fuera de los basureros en el predio completo.

- La disposición de los desechos provenientes de las actividades de los campamentos y comedores debe realizarse sólo en fosas sanitarias, ubicadas a una distancia mínima de 40 m de estas instalaciones.

- Los residuos propios de las operaciones (cables, filtros, neumáticos, restos de herramientas, contenedores, envases, etc.) no deben ser depositados en el bosque ni en canchas ni caminos ni áreas de protección ni cursos de agua.

- Finalizada la cosecha, los desechos de operaciones deben ser transportados a los lugares de base de las operaciones, para luego ser trasladados a sectores finales de botaderos apropiados, punto que debe ser comunicado enfáticamente a los contratistas y operarios en general.

- Los desechos de colaciones de terreno deben ser siempre colectados, recibidos y luego depositados en fosas sanitarias adecuadamente diseñadas para tales propósitos.

5. BIBLIOGRAFIA

- CONAMA. 1996. Metodologías para la caracterización ambiental. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 242 p.
- DONOSO, C. 1981. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria, 368 p.
- GAYOSO, J.; IROUME, A. 1991. "Compaction and Soil disturbances from logging in Southern Chile." Ann. Sci. For: 48: 63-71.
- GAYOSO, J. y MUÑOZ, R. 1997. "Claves para estimar el nivel de fragilidad de los suelos a la degradación". En: Gayoso y Acuña, Manual de curso sobre evaluación de impacto ambiental en operaciones forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia 18-20 diciembre 1997, pp: 88-104.
- HONORATO, C, 1993. Manual de Edafología. Editorial Universidad Católica de Chile. Documento técnico.
- HORN, H. 1996 Soil science and sustainable soil use and management: problems and research needs. Agro Sur 23(2): 159-172.
- INIA, 1985. Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Santiago, 723 p.
- IREN, 1964. Proyecto aerofotogramétrico Chile/OEA/BID. Descripciones de las series de suelos. 391 p.
- IREN, 1979. Fragilidad de los ecosistemas naturales de Chile. Informe N° 40 y anexos.
- LEWIS, T. and THE TIMBER HARVESTING SUBCOMMITTEE. 1991. Developing Timber Harvesting Prescriptions to Minimize Site Degradation. 64 pp.
- OYARZUN, C. 1993. "Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso de la cuenca del río Bío-Bío, IX Región, Chile. Tes. Dr. Cs. Ambientales, Escuela Graduados de la Universidad de Concepción. 150 p.
- SCHLATTER, J.; GREZ, R. y GERDING, V. 1981. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile. 81 p.

SCHLATTER, J.; GERDING, V. y ADRIAZOLA, J. 1994. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal, aplicada a las regiones VII, VIII y IX. Universidad Austral de Chile.

SCHLATTER, J.; GERDING, V. y HUBER, H. 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal, aplicada a la X región. Universidad Austral de Chile.

SMITH, C. and NORRIS, C. 1995. www.icfrnet.unp.ac.za/bulletin/o7-95/soilsens.htm.

WISCHMEIER, W. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Proc. Soil Science Soc. Am., 23: 246-249.

WISCHMEIER, W. and SMITH, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA, SEA/AR, Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture, Washington D.C. 58 pp.

ANEXOS

A. PAUTA DE EVALUACION DE FRAGILIDAD POTENCIAL DE LOS SUELOS FORESTALES

PASO 1. RIESGO DE REMOCIÓN

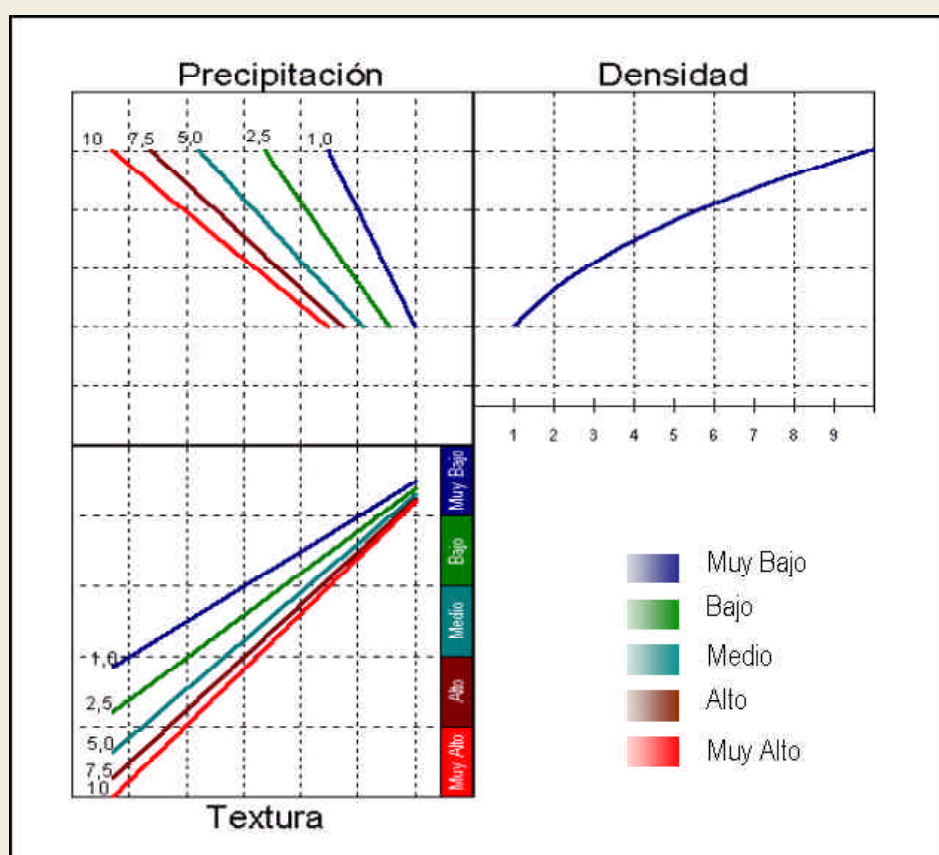
- Para la evaluación de la fragilidad del suelo según riesgo de remoción, ingrese al nomograma según los índices siguientes en el orden dado:

• Densidad				
<i>Muy Denso</i>	<i>Denso</i>	<i>Medio</i>	<i>Blando</i>	<i>Muy blando</i>
1,0	2,5	5,0	7,5	10

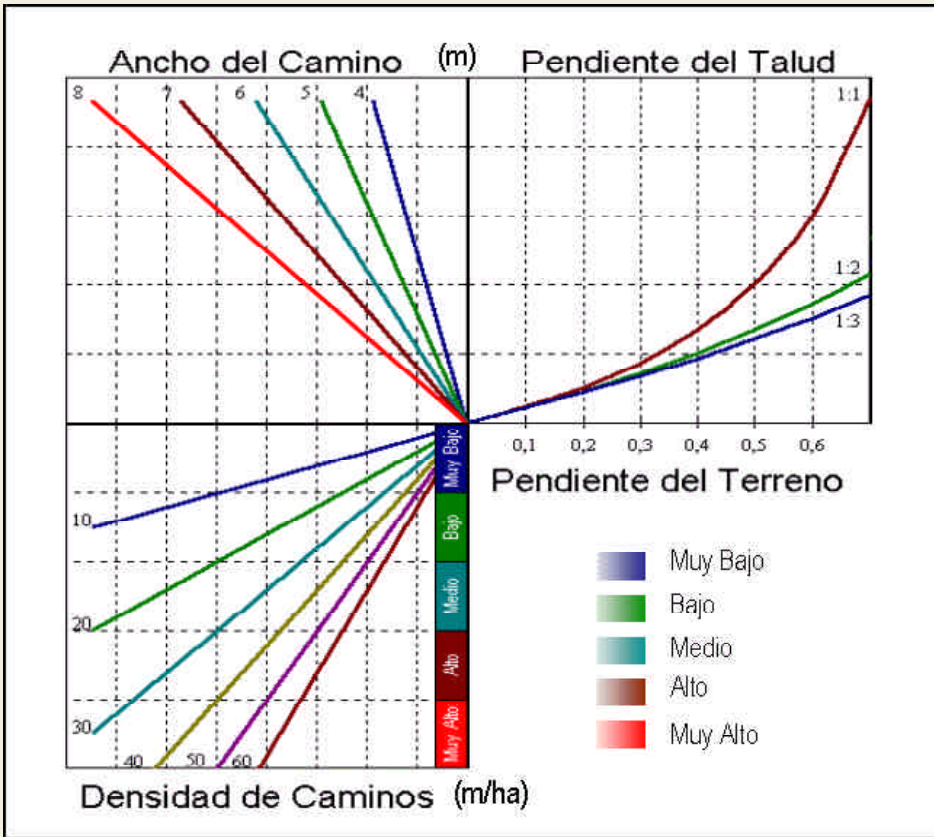
• Precipitación (mm/año)				
< 600	600-1200	1200-1800	1800-2400	> 2400
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Textura				
<i>Fragmentos de Roca</i>	<i>Ripios y Arenas Gruesas</i>	<i>Arenas Finas</i>	<i>Limos y Arcillas de Baja Plasticidad</i>	<i>Limos y Arcillas de Alta Plasticidad</i>
1,0	2,5	5,0	7,5	10

- Nomograma para Evaluación Riesgo Potencial de Remoción**



- **Nomograma para Evaluación Riesgo Potencial de Remoción (específico para caminos forestales)**



- Una vez determinado el Índice de Riesgo por Remoción, suba o baje de categoría según modificadores:

Grupo	Modificadores de Riesgo Potencial	Clases a mover
1	<i>Corta Selectiva</i>	<i>Baja una</i>
2	<i>Empleo de Torre, o Rodados de Baja Presión al Suelo</i>	<i>Baja una</i>
3	<i>Cosecha en Temporada Húmeda</i>	<i>Suba una</i>
	<i>Presencia de hielo o nieve</i>	<i>Baja una</i>
4	<i>Evidencia de Ahuellamientos >20 cm</i>	<i>Suba una</i>
5	<i>Densidad de caminos <20 m/ha, o Ancho de la plataforma <5 m</i>	<i>Baja una</i>
	<i>Ancho de la plataforma >6 m</i>	<i>Suba una</i>

PASO 2. RIESGO DE COMPACTACIÓN

- Para la evaluación de la fragilidad del suelo según riesgo de compactación, ingrese al nomograma según los índices siguientes en el orden dado:

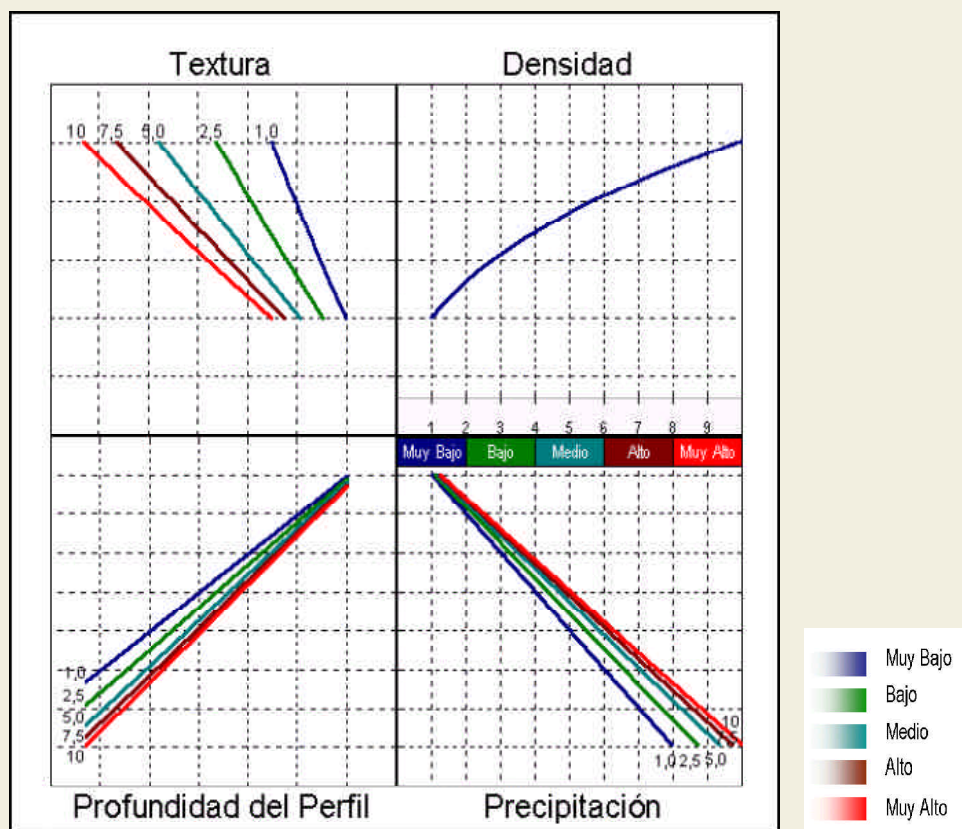
• Densidad				
<i>Muy Denso</i>	<i>Denso</i>	<i>Medio</i>	<i>Blando</i>	<i>Muy blando</i>
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Textura				
<i>Fragmentos de Roca</i>	<i>Ripios y Arenas Gruesas</i>	<i>Arenas Finas</i>	<i>Limos y Arcillas de Baja Plasticidad</i>	<i>Limos y Arcillas de Alta Plasticidad</i>
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Profundidad del Perfil (cm)				
> 90	90-60	60-45	45-30	<30
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Precipitación (mm/año)				
< 600	600-1200	1200-1800	1800-2400	> 2400
1,0	2,5	5,0	7,5	10

- Nomograma para Evaluación Riesgo Potencial de Compactación**



- Una vez determinado el Índice de Riesgo de Compactación, suba o baje de categoría según modificadores, para lo cual seleccione sólo un modificador por grupo (si corresponde)

Grupo	Modificadores de Riesgo Potencial	Clases a mover
1	<i>Origen Arenas, o > 70% de presencia granos de > 5 mm</i>	<i>Baja una</i>
2	<i>Corta Selectiva</i>	<i>Baja una</i>
3	<i>Empleo de Torres</i>	<i>Baja una</i>
	<i>Rodados de Baja Presión al Suelo</i>	<i>Baja una</i>
4	<i>Drenaje Imperfecto, o Cosecha en Temporada Húmeda</i>	<i>Sube una</i>
	<i>Presencia de Hielo o Nieve</i>	<i>Baja una</i>
5	<i>Condición de Hojarasca Abundante</i>	<i>Baja una</i>
	<i>Evidencia de Ahuellamientos >20 cm</i>	<i>Sube una</i>

PASO 3. RIESGO DE EROSIÓN

- Para la evaluación de la fragilidad del suelo según riesgo de erosión, ingrese al nomograma según los índices en el orden dado:

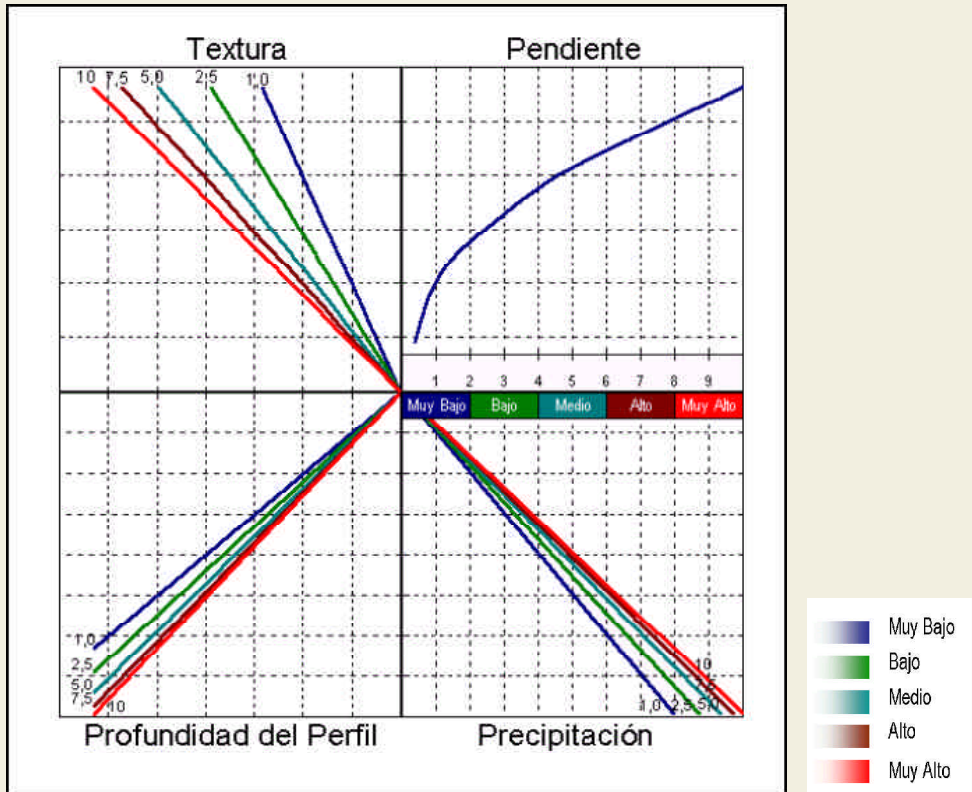
• Pendiente (%)				
0-5	5-15	15-30	30-45	>45
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Textura				
<i>Fragmentos de Roca</i>	<i>Ripios y Arenas Gruesas</i>	<i>Arenas Finas</i>	<i>Limos y Arcillas de Alta Plasticidad</i>	<i>Limos y Arcillas de Baja Plasticidad</i>
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Profundidad del Perfil (cm)				
> 90	90-60	60-45	45-30	<30
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Precipitación (mm/año)				
< 600	600-1200	1200-1800	1800-2400	> 2400
1,0	2,5	5,0	7,5	10

- **Nomograma para Evaluación Riesgo Potencial de Erosión**



- Una vez determinado el Índice de Riesgo por Erosión, suba o baje de categoría según modificadores, para lo cual seleccione sólo un modificador por grupo (si corresponde)

Grupo	Modificadores de Riesgo Potencial	Clases a mover
1	<i>Origen Granítico Meteorizado</i>	<i>Sube una</i>
2	<i>Corta Selectiva u Ordenamiento de desechos en fajas o Franjas Infiltración</i>	<i>Baja una</i>
3	<i>Materia Orgánica >15 %</i>	<i>Baja una</i>
4	<i>Quema de Desechos</i>	<i>Sube una</i>
5	<i>Empleo de Torres</i>	<i>Baja una</i>
6	<i>Evidencia de Cárcavas</i>	<i>Clase Muy Alta, Sin modificación</i>

PASO 4. RIESGO DE DESLIZAMIENTO

- Para la evaluación de la fragilidad del suelo según riesgo de deslizamiento, ingrese al nomograma según los siguientes índices en el orden dado:

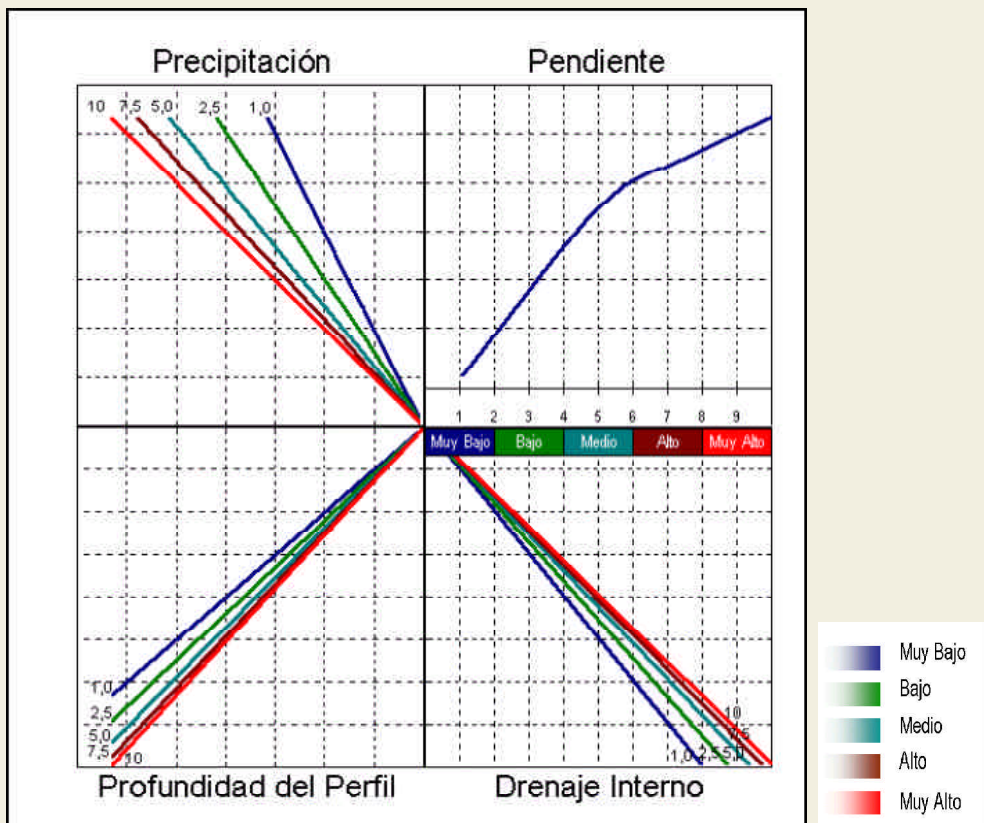
• Pendiente (%)			
0-30	30-45	45-60	>60
1,0	2,5	5,0	7,5

• Precipitación (mm/año)				
< 600	600-1200	1200-1800	1800-2400	> 2400
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Profundidad del Perfil (cm)				
> 90	90-60	60-45	45-30	<30
1,0	2,5	5,0	7,5	10

• Drenaje Interno				
Imperfecto	Lento	Moderado	Bueno	Excesivo
1,0	2,5	5,0	7,5	10

- Nomograma para Evaluación Riesgo Potencial de Deslizamiento**



- Una vez determinado el Índice de Riesgo por Deslizamiento, suba o baje de categoría según modificadores, para lo cual seleccione sólo un modificador por grupo (si corresponde)

Grupo	Modificadores de Riesgo Potencial	Clases a mover
1	<i>Origen Metamórfico</i>	<i>Sube una</i>
	<i>> 70% de Presencia de Granos >5 %</i>	<i>Baja una</i>
2	<i>Corta Selectiva o Taludes Estabilizados</i>	<i>Baja una</i>
3	<i>Empleo de Torres</i>	<i>Baja una</i>
4	<i>Evidencia de Deslizamientos Antiguos</i>	<i>Clase Muy Alta, Sin modificación</i>

PASO 5. CLASE DE FRAGILIDAD TOTAL

- Una vez establecidos los niveles de riesgo de los diferentes tipos de degradación, se integran en un indicador de fragilidad global que considera los riesgos señalados para cada unidad territorial.
- Finalmente, la fragilidad multicriterio del suelo será igual al más limitante de los riesgos individuales. Es decir, debe considerarse la clase más alta obtenida para cada riesgo de degradación, como la clase de fragilidad del suelo para cada sitio determinado

B. PROPIEDADES DEL SUELO

I. Profundidad del suelo

- Profundidad del perfil de suelo. Se acostumbra a clasificar los suelos según profundidad:

Clase de profundidad	Profundidad
<i>Profundo</i>	<i>> 90 cm</i>
<i>Moderado</i>	<i>entre 50 y 90 cm</i>
<i>Delgado</i>	<i>entre 25 y 50 cm</i>
<i>Muy Delgado</i>	<i>< 25 cm</i>

II. Propiedades de las partículas

A. Textura o granulometría

- Corresponde a la distribución de las partículas sólidas de suelo según tamaño y se expresa cuantitativamente por el peso relativo de las partículas comprendidas entre tamaños definidos.
- Las fracciones que conforman el suelo, comúnmente se clasifican en arcilla, limo, arena y grava, según tamaño:

Fración	Arcilla	Limo	Arena	Grava
<i>Tamaño de las partículas (mm)</i>	<i>< 0,002</i>	<i>0,002 a 0,063</i>	<i>0,063 a 2,0</i>	<i>> 2,0</i>

- La determinación de esta propiedad física se realiza mediante el análisis granulométrico, que comprende el método por tamizado mecánico para las partículas de tamaño mayor de 0.075 mm y el hidrométrico o de sedimentación para las partículas menores, según norma ASTM D422.

B Límites de consistencia

- La plasticidad es una propiedad que permite a los suelos de textura fina sufrir deformaciones sin recuperación elástica perceptible y sin desmenuzarse. Así los límites de humedad que definen las fases líquida, plástica y sólida del suelo (límites de Atterberg), son indicativos de la capacidad de reacción frente a la presencia de agua y dependen de la cantidad y tipo de mineral arcilla presente.
- La determinación se hace siguiendo la norma NCh 1517/I/II/III. La consistencia describe la respuesta del suelo frente a fuerzas externas tendientes a deformarlo y depende de la clase de suelo, condición física, el contenido de agua, la magnitud de la fuerza aplicada y la manera como se aplica la fuerza.
- Se conoce como límite líquido el contenido de agua mínima, con el cual el suelo se comporta como un fluido. El límite plástico, en tanto, corresponde a la humedad mínima bajo la cual un suelo puede deformarse sin que se desmenuce.
- Los siguientes corresponden a algunos de valores de límites de consistencia para suelos forestales:

Tipo de Suelo	Serie	Límite Líquido	Índice de plasticidad
<i>Arena</i>	<i>Llaima</i>	ND	NP
<i>Granítico</i>	<i>San Esteban</i>	29	14
<i>Ñadi</i>	<i>Huiño Huiño</i>	82	28
<i>Metamórfico</i>	<i>Nahuelbuta</i>	47	18
<i>Rojo arcilloso</i>	<i>Los Ulmos</i>	52	25
<i>Trumao</i>	<i>Liquiñe</i>	84	14
	<i>Puerto Fonck</i>	ND	NP

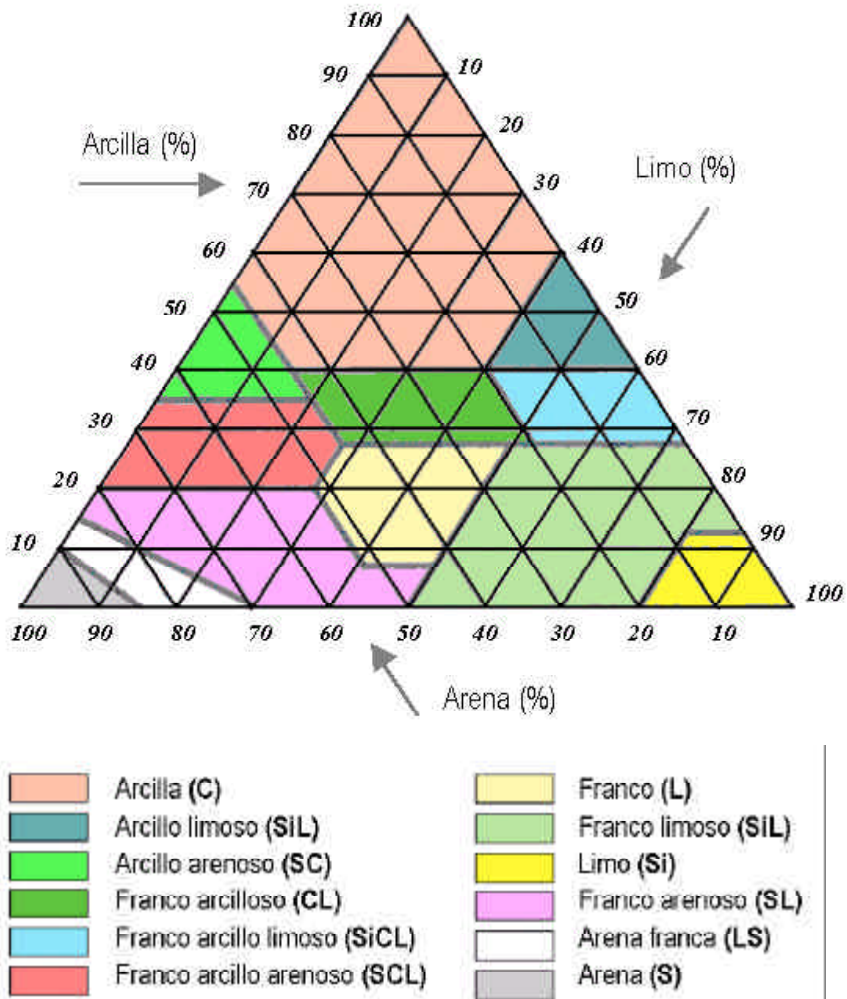
ND : No determinable

NP : No plástico

Clasificación de los suelos

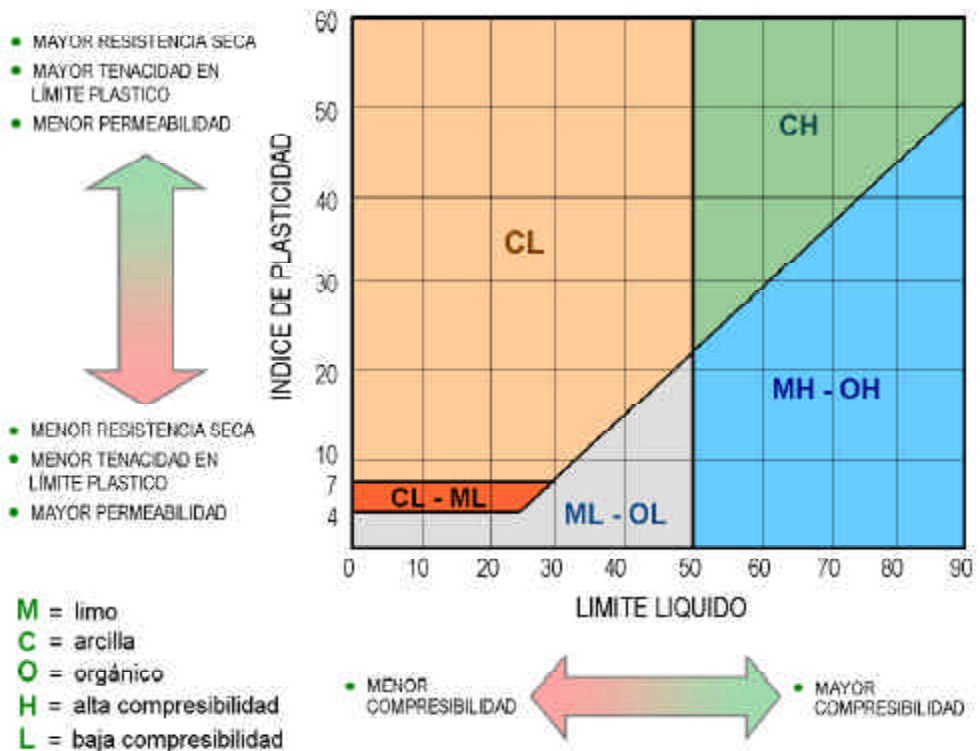
- La clasificación de suelos se basa en la interpretación que se da a la relación existente entre las propiedades del suelo en base a las cuales se ha identificado y el comportamiento experimentado por suelos que tenían las mismas propiedades. A continuación se presentan los dos sistemas comúnmente usados:

A) Método de clasificación de texturas del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (U.S.D.A) se basa exclusivamente en la textura para clasificar los suelos, mediante el triángulo siguiente:



B) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)

- El método U.S.C.S considera tanto la textura como la plasticidad. Divide los suelos en **suelos de partículas gruesas**, aquellos que presentan más del 50% del material mayor a 0.075 mm y **suelos de partículas finas** a los restantes.
- Para los suelos gruesos, los subgrupos se basan en los atributos de la granulometría y para los finos en la **carta de plasticidad de Casagrande**, donde se grafican los suelos en un sistema coordinado que tiene el **Límite Líquido** en el eje de las abscisas y el **Índice de Plasticidad** en las ordenadas.



- Este sistema diferencia comportamientos de limos y arcillas en cuanto a su resistencia seca, tenacidad, permeabilidad y compresibilidad.

- Texturas típicas de algunos suelos forestales son:

Tipo de Suelo	Serie	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación según método:	
					USDA	USCS
Arena	<i>Llaima</i>	88	10	2	S	SM
	<i>Flor de Lago</i>	60	40	0	SL	SM
	<i>Llifén</i>	64	36	0	SL	SM
<i>Granítico</i>	<i>San Esteban</i>	72	20	8	SL	SC
<i>Ñadi</i>	<i>Huiño Huiño</i>	63	35	2	SL	SM
Metamórfico	<i>Nahuelbuta</i>	48	45	7	L	ML
	<i>Hueicoya</i>	22	65	13	LSi	MH
Rojo arcilloso	<i>Los Ulmos</i>	6	36	58	C	CH
	<i>Collipulli</i>	35	51	14	LSi	-
Trumao	<i>Liquiñe</i>	55	31	14	LS	SM
	<i>Correltúe</i>	47	37	16	CL	MH
	<i>Puerto Fonck</i>	71	21	8	SL	SM
	<i>Pemehue</i>	42	55	3	SiL	ML
	<i>Metrenco</i>	28	60	12	SiL	ML
	<i>Chol chol</i>	28	52	20	SiCL	-

C. Pedregosidad

- La pedregosidad se refiere a la cantidad y tamaño de fragmentos rocosos mayores de 2 mm presentes en el suelo. Si bien reducen el volumen de suelo efectivamente arraigable, aportan resistencia a la compactación.
- Los suelos se pueden clasificar según el contenido de fragmentos:






Categoría del suelo	Contenido de fragmentos
<i>De muy baja pedregosidad</i>	<i>< 1 %</i>
<i>De baja pedregosidad</i>	<i>entre 1 y 10 %</i>
<i>De pedregosidad moderada</i>	<i>entre 10 y 25 %</i>
<i>De alta pedregosidad</i>	<i>entre 25 y 50 %</i>
<i>De muy alta pedregosidad</i>	<i>entre 50 y 75 %</i>
<i>Pedregoso</i>	<i>> 75 %</i>

III. Propiedades de los agregados




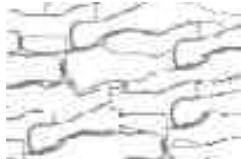
A. Estructura

- Estructura es la geometría de la agrupación de partículas (microestructura) y la disposición de las capas, el agrietamiento, la aglomeración (macroestructura), y corresponde al estado de ordenamiento espacial de las partículas del suelo.

- En el cuadro siguiente, se muestran las clases de estructura diferenciables a simple vista en terreno según Schlatter *et al* (1981).

Grupos de estructuras		Clase de estructura	Características
No Cohesivas		Grano simple	No presenta coherencia entre partículas (suelos arenosos) 
		Masiva	Las partículas forman una masa cohesionada y homogéneamente aglutinada 
Cohesivas	Por agregación	Grumosa	Redondeados, porosos de superficie irregular 
	Por segregación	Granular	Agregados pequeños, de cantos definidos, superficies romas 
		Subpoliédrica o Bloques Subangulares	Muchas superficies, irregulares, cantos romos 

(continuación de la página anterior)

Grupos de estructuras		Clase de estructura	Características
Cohesivas	Por segregación	<i>Poliédrica o Bloques Angulares</i>	<i>Muchas superficies, irregulares y cantos agudos</i> 
		<i>Prismática</i>	<i>Agregados de gran tamaño, eje vertical mayor, cantos agudos</i> 
		<i>Columnar</i>	<i>Agregados de gran tamaño, eje vertical mayor, cantos redondeados</i> 
		<i>Laminar</i>	<i>Eje horizontal mayor y ejes verticales menores</i> 

B. Contenido de humedad del suelo

- Contenido de humedad es el peso relativo del agua contra el peso de las partículas sólidas secas.
- Es un parámetro de gran importancia para la conservación del suelo, ya que los impactos que se transmiten al suelo durante las actividades silvícolas, sobretodo las efectuadas con maquinaria pesada, tendrán mayor efecto sobre el suelo, ante un mayor contenido de humedad del suelo en un momento dado.
- El valor del estado de humedad actual del suelo debe realizarse mediante la norma NCh1515.

- Sin embargo, es posible estimar el estado de humedad de manera aproximada, a partir de la textura:

Características del Suelo		Evaluación de estado de humedad actual	Rango de tensión de agua (pF)
Muestras adhesivas (>17 % arcilla)	Muestras no adhesivas (<17 % arcilla)		
<i>Firme, duro, color del suelo relativamente claro</i>	<i>Color del suelo claro, en ciertos casos pulverulento</i>	<i>Seco</i>	<i>> 4.0 (humedad de marchitez)</i>
<i>Duro, color del suelo no cambia al agregarle agua</i>	<i>Color del suelo no cambia al agregarle agua</i>	<i>Débilmente húmedo (fresco)</i>	<i>< 4.0 - 3.0</i>
<i>Plástico</i>	<i>Los dedos se humedecen algo sin liberación de agua de los poros del suelo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>< 3.0 - 2.2</i>
<i>Blando</i>	<i>Los dedos se humedecen notablemente, al golpear la muestra se libera agua</i>	<i>Muy húmedo</i>	<i>< 2.2 - 1.4 (capacidad de campo)</i>
<i>Pastoso</i>	<i>Al golpear la muestra se observa bien que libera agua, la muestra escurre</i>	<i>Mojado (Saturado)</i>	<i>< 1.4</i>

C. Estabilidad de los agregados

- Consiste en determinar la variación del diámetro medio a través de ensayos granulométricos por sedimentación realizados con y sin dispersante. A medida que es mayor la variación del diámetro medio, es menor la estabilidad de los agregados.
- Igualmente una medida de la estabilidad de terrones o agregados se determina comparando el diámetro medio de granulometrías realizadas por tamizado en seco y en húmedo. Su trascendencia es que a mayor variación del diámetro medio, mayor es la susceptibilidad de sufrir procesos erosivos.

IV. Relaciones Gravimétricas del suelo

A. Densidad aparente del suelo (Dap)

- La densidad aparente del suelo corresponde a la masa total de un determinado volumen de suelo y se expresa comúnmente en Mg/m^3 ó g/cm^3 . Para su comparación se emplea generalmente la Dap seca.
- La determinación de la Dap se realiza tanto por muestreo mediante cilindros o por mediciones directas a través de un densímetro.
- La Dap depende del tipo de suelo y se ve afectada por el manejo del suelo. Casos de compactación producto de malas prácticas de manejo de los suelos puede resultar en un valor de densidad aparente de hasta $2,0 \text{ g/cm}^3$. Los siguientes son algunos valores de Dap para algunos tipos de suelos forestales.

Tipo de suelo	Densidad aparente (g/cm^3)
<i>Arenosos</i>	<i>1,2 - 1,8</i>
<i>Arcillosos y limosos</i>	<i>0,8 - 1,2</i>
<i>Texturas francas</i>	<i>1,0 - 1,3</i>
<i>Trumaos</i>	<i>0,4 - 0,8</i>
<i>Alto contenido de humus</i>	<i>0,3 - 0,4</i>

B. Peso específico de los sólidos (DR)

- Llamado también densidad real (DR), corresponde a la masa de los constituyentes del suelo por unidad de volumen de sólidos.
- El peso específico de los suelos depende del material generador. Así, valores más bajos pueden deberse a la presencia de vidrio volcánico o materia orgánica. El cuarzo presenta una $\text{DR}=2.65 \text{ g/cm}^3$ mientras la materia orgánica alcanza valores de 1.2 a 1.7 g/cm^3 .

Tipo de Suelo	Serie	Dap (1) (g/cm ³)	Dap (2) (g/cm ³)	DR (g/cm ³)	n (%)
Arenoso	Llaima	0.61	1.18	s.i.	s.i.
Granítico	San Esteban	1.11	s.i.	2.46	55.1
Ñadi	Huiti	0.57	s.i.	1.85	69.1
	Huiño-Huiño	0.29	0.43	s.i.	s.i.
	Chanleufú	0.26	0.84	s.i.	s.i.
	Frutillar	0.24	0.42	s.i.	s.i.
Metamórfico	Nahuelbuta	0.81	s.i.	2.53	68.1
	Isla Grande	0.21	0.34	s.i.	s.i.
Rojo arcilloso	Los Ulmos	1.04	s.i.	2.39	56.2
Trumao	Liquiñe	0.73	s.i.	2.19	66.3
	Liquiñe	0.42	0.61	s.i.	s.i.
	Santa Bárbara	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
	Neltume	0.38	s.i.	1.72	77.8
	Piedras Negras	0.26	0.62	1.41	81.3
	Pto. Fonck	0.47	0.59	1.99	74.4

(1) condición inalterada

(2) condición huella de madereo

s.i. sin información

C. Porosidad total (n) y Distribución de poros

- La porosidad corresponde al porcentaje de espacio poroso que existe en el suelo. Es importante conocer además de la porosidad total, la distribución por tamaño de la misma, clasificada en poros de drenaje (rápido y lento), poros intermedios (agua útil), poros finos (agua inútil).
- Un porcentaje inferior a 10% de poros de drenaje, puede afectar el desarrollo de las plantas.

Tipo de suelo	Poros drenaje (tamaño >10 µm)		Poros agua útil (0.2 a 10 µm)		Poros agua inútil (tamaño < 0.2 µm)	
	Inalterado	Alterado	Inalterado	Alterado	Inalterado	Alterado
Metamórfico	16.7	1.9	12.3	2.8	22.7	31.0
Granítico	28.0	8.8	7.0	8.6	23.2	22.7
Trumao	23.4	7.4	8.5	5.0	34.8	47.6

- La porosidad condiciona características importantes del suelo, tales como la capacidad de aireación del suelo y el movimiento de agua a través de él.

- La porosidad puede verse afectada (disminuida) por:
 - Actividades que produzcan compactación del suelo
 - Prácticas que involucren disminución considerable de la materia orgánica (quema de desechos)
 - Técnicas de madereo y empleo de maquinaria pesada inapropiada al tipo y condición del suelo específico
 - Demora en la restitución de cubierta boscosa luego de métodos de cosecha extensivos como tala rasa.

V. Erodabilidad del suelo (K)

- Refleja el efecto combinado de todas las propiedades del suelo que influyen significativamente en el proceso de erosión. Inciden en el valor de K, la materia orgánica, la granulometría, la estructura y condición de drenaje interno (permeabilidad).

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Serie</i>	<i>K</i>
<i>Trumao</i>	<i>Santa Bárbara</i>	<i>0.09</i>
	<i>Liquiñe</i>	<i>0.14</i>
	<i>Huiño Huiño</i>	<i>0.23</i>
<i>Rojo arcilloso</i>	<i>Los Ulmos</i>	<i>0.25</i>
	<i>Pto Fonck</i>	<i>0.08</i>
	<i>Isla Grande</i>	<i>0.14</i>
	<i>Colico</i>	<i>0.18</i>

VI. Propiedades hidráulicas

- La conductividad hidráulica es la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua. La infiltración es la entrada vertical del agua en el perfil de suelo. La velocidad de infiltración depende de la humedad del suelo, siendo mayor mientras más seco esté el suelo
- La infiltración en terreno se mide con empleo de anillos simples o dobles y se expresa comúnmente en cm/hora.

- Categorías de drenaje interno del suelo (USDA, Handbook N°18)

Categoría de drenaje	Velocidad de infiltración (cm/hr)
<i>Muy lento, imperfecto</i>	< 0,13
<i>Lento</i>	0,13 - 0,51
<i>Moderadamente lento</i>	0,51 - 2,00
<i>Moderado</i>	2,00 - 6,30
<i>Moderadamente rápido</i>	6,30 - 12,70
<i>Rápido</i>	12,70 - 25,40
<i>Muy rápido/Excesivo</i>	> 25,40

- Algunos ejemplos de suelos locales

Tipo de suelo	Serie	Infiltración saturada (cm/hora)
<i>Trumao antiguo</i>	<i>Correltúe</i>	13,14
<i>Rojo arcilloso</i>	<i>Los Ulmos</i>	7,90
<i>Trumao</i>	<i>Piedras Negras</i>	8,00
<i>Trumao, arenas</i>	<i>Llifén</i>	10,70
<i>Trumao</i>	<i>Liquiñe</i>	22,73
<i>Metamórfico</i>	<i>Hueicoya</i>	19,86
<i>Rojo arcilloso</i>	<i>Collipulli</i>	8,25
<i>Arcilloso</i>	<i>Chol-chol</i>	9,04
<i>Trumao</i>	<i>Metrenco</i>	8,24
<i>Trumao, arenas</i>	<i>Pemehue</i>	16,68
	<i>Flor de lago</i>	24,31

VII. Propiedades mecánicas

- La capacidad de soporte de los suelos corresponde a la reacción del suelo frente a sollicitaciones, y depende del tipo de suelo, del estado en que se encuentra y de la combinación de los esfuerzos aplicados.
- La resistencia del suelo varía con respecto a la forma de la carga, la dimensión de la carga unitaria, velocidad de aplicación y de la deformación del suelo. La resistencia al corte, la capacidad de soporte y la resistencia a la penetrometría, entre otros, son indicativas de la susceptibilidad de los suelos a la degradación física.

- La capacidad de soporte puede determinarse por mediciones directas en terreno o a través de ensayos sobre muestras inalteradas: triaxiales, corte directo, consolidación, placa de cargas, veleta de torsión, penetrometría.

- La capacidad de soporte disminuirá con una menor densidad aparente y con el aumento del contenido de humedad. A menor capacidad de carga se espera una mayor compresibilidad volumétrica y mayor deformación o ahuellamiento.

- **Ensayo de corte directo.** Permite determinar la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo. A mayor densidad aparente se puede esperar mayores puntos de contacto entre las partículas, un mayor ángulo de fricción y consecuentemente una mayor capacidad de soporte. La resistencia al corte variará con el tipo de suelo, la humedad, contenido de materia orgánica y grado de compactación.

- **Ensayo de consolidación.** La máxima carga histórica (P_o) aplicada a un suelo se puede emplear como indicativa de la capacidad de soporte del mismo. A mayor P_o mayor será la carga necesaria para generar una deformación dada o para un mismo nivel de carga actual a mayor P_o se puede esperar una menor deformación del suelo.

- En suelos inalterados de baja densidad aparente, en la estrata superficial, son comunes valores de $P_o = 20$ a 25 kPa, mientras en áreas compactadas por tractores alcanza valores de $P_o = 100$ a 150 kPa. Además, este ensayo permite determinar la compresibilidad volumétrica de los suelos (mv) y su índice de compresión (Cc).

- **Penetrometría.** Consiste en medir la resistencia a la deformación, al hacer penetrar un cono en el suelo a una velocidad constante y midiendo la resistencia que el suelo opone al área de manto de la punta del penetrómetro.

- La resistencia a la penetración de un suelo varía con las propiedades intrínsecas del suelo y condiciones de manejo, será menor a mayor humedad y mayor mientras mayor el grado de compactación. El penetrómetro registra la fuerza por unidad de área necesaria para introducir un cono hasta una cierta profundidad.

- La medición de la penetrometría es sencilla y rápida. Sin embargo, los resultados presentan una alta variabilidad especialmente si hay presencia de pedregosidad y raíces. Es útil para discriminar entre suelos con diferencias importantes de densidad aparente o compactación.
- El ensayo de corte por **veleta de torsión (Torvane)** mide de forma indirecta la resistencia al corte de los suelos. Los resultados son más precisos que en la penetrometría pero presenta limitaciones en suelos granulares y demasiado compactos. El valor es indicativo y sirve para diferenciar entre suelos inalterados y distintos grados de alteración.
- Valores típicos de resistencia al corte con veleta son de 200 a 300 kPa para suelos inalterados y 500 a 1000 kPa en suelos compactados o densos.

C. CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS DE APTITUD FORESTAL DE CHILE

- De acuerdo al material de origen, es posible clasificar los suelos forestales en Chile en los siguientes tipos de suelo (IREN, 1979; INIA, 1985; Schlater *et al*, 1994; Schlatter *et al*, 1995)

1) Suelos Graníticos

Distribución

- Principalmente en la Cordillera de la Costa, de forma interrumpida entre Valparaíso y Malleco.

Origen

- Material intrusivo con procesos de meteorización avanzados.

Propiedades y Características

- Textura superficial fina a media, con abundante grava de cuarzo.
- A mayor profundidad en el perfil, aumenta la proporción de arcilla, la textura frecuente es arcilla arenosa.
- Densidad aparente media a alta.
- Porosidad total media.
- Alta erodabilidad.
- La profundidad generalmente varía según topografía y uso anterior (a mayor pendiente, menos profundidad debido a procesos más severos de erosión). Por lo general cumbres planas y ligeramente inclinadas de anterior uso agropecuario, se hallan fuertemente erosionadas y su profundidad es moderada a delgada; mientras que laderas cóncavas presentan mayor profundidad hacia la base.

Tipos de suelos

a) *Suelos de lomajes de formación in situ:*

- Profundidad de media a profunda
- Topografía ondulada a quebrada.
- Drenaje externo de rápido a moderado y drenaje interno de moderado a lento

b) *Suelos depositacionales formados por erosión geológica de los anteriores:*

- Extensas áreas de topografía plana a ondulada.
- Profundidad variable, Alta pedregosidad.
- Drenaje externo generalmente lento a moderado.

Limitantes más frecuentes:

- Alta densidad aparente
- Difícil arraigabilidad
- Baja capacidad de agua aprovechable
- Frecuentes restricciones en drenaje interno
- Deficiencias nutricionales más frecuentes: N, P y B, ligado a un bajo contenido de materia orgánica.
- La alta erodabilidad de estos suelos en relación a anteriores usos intensivos o inadecuados, determinan procesos erosivos frecuentes.

2) Suelos Metamórficos

Distribución

- Principalmente entre la Provincia Cardenal Caro y Chiloé, en la Cordillera de la Costa, de preferencia en su vertiente occidental.

Origen

- Están formados principalmente por esquistos, micaesquistos y pizarras

Propiedades y Características

- Textura según grado de evolución y erosión, por lo general con superficie de textura arcilla arenosa a franca, y franca arcillosa a arcillosa al descender en el perfil.
- Densidad aparente media a alta, observándose una tendencia a aumentar de sur a norte.
- Drenaje interno moderado, y lento en sectores planos. Hacia el sur de su distribución, en terrenos altos con restricción o impedimento en el drenaje por depresiones topográficas, se desarrollan incluso turberas.
- Al norte de Arauco, estos suelos han tenido un uso agropecuario más intensivo que hacia el sur, por lo que se encuentran más erosionados.

- Profundidad muy variable, incluso en distancias cortas, variación difícilmente apreciable de manera externa.
- Generalmente las cumbres de gran elevación presentan suelos delgados, con drenaje interno lento a moderado hacia las planicies altas. En laderas, mejora el drenaje interno y aumenta la profundidad. Se presentan con frecuencia laderas convexas en la topografía, disminuyendo la profundidad del suelo hacia la base de los cerros y pendientes pronunciadas.
- Pese a su alta variabilidad, se puede distinguir que los suelos son profundos a moderadamente profundos a altitudes menores a 600 m.s.n.m. en el norte de la X Región, y menores a 300 m.s.n.m. hacia el sur.

Limitantes más frecuentes

a) *De Cardenal Caro a Arauco:*

- Profundidad arraigable y de desarrollo moderada a escasa
- Bajos niveles de materia orgánica en suelos erosionados.
- Con poca pendiente, se presentan restricciones al drenaje interno.
- N, K, P y Mg son los nutrientes a menudo deficientes.

b) *De Arauco a Chiloé:*

- Escasa profundidad arraigable y de desarrollo en altas elevaciones y posiciones topográficas extremas (pendientes >50%, base de ladera cóncava)
- Drenaje interno restringido en planos amplios y valles depositacionales de poca pendiente.
- Deficiencias frecuentes de P, K, Mg.
- Altos niveles de aluminio activo.

3) Suelos Trumao

Distribución

- Precordillera Andina desde Santiago a Llanquihue, en la Depresión Intermedia de Malleco hasta Chiloé y en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa desde Cautín a Osorno.

Tipos de suelos

- Según el régimen de humedad bajo el cual se han desarrollado, es posible distinguir dos tipos de trumaos:

A. Trumaos o cenizas volcánicas modernas

Distribución

- Desde su límite norte hasta Osorno-Llanquihue en la Depresión Intermedia, Precordillera y Cordillera de los Andes

Origen

- Cenizas volcánicas transportadas eólica o aluvialmente, evolucionados bajo un régimen de humedad abundante, que cubren diversos tipos de materiales.

Propiedades y Características

- Textura franca en superficie, y franco arenosa a franco arcillosa en profundidad, (limosa si se trata de materiales más recientes)
- Densidad aparente media a baja
- Porosidad total alta (alta capacidad de agua aprovechable)
- Suelos muy profundos a moderadamente profundos
- Drenaje interno moderado a rápido
- Generalmente ricos en materia orgánica
- Se presentan también suelos delgados, con drenaje restringido en la temporada invernal y/o limitaciones hídricas en verano.

Limitantes más frecuentes

- Baja conductividad del agua en estado no saturado.
- Rápido secamiento en la superficie al estar expuestos a radiación directa.
- Acidez, baja disponibilidad de P, B, Mg, K (alta fijación de P, dado alto nivel de aluminio activo)
- Pueden presentar pie de arado
- Algunas situaciones con escasa profundidad de desarrollo.

B. Trumaos húmedos o suelos húmedos de cenizas volcánicas modernas

Distribución

- Se extienden en Palena y Chiloé.

Origen

- Cenizas volcánicas andesíticas y riolíticas, de origen aluvial, evolucionadas bajo régimen de constante superávit de precipitaciones.

Propiedades y Características

- A 50-70 cm de profundidad, con frecuencia se presenta una capa de pumicita, bajo el cual existe un horizonte arcilloso de densidad moderada (determinando una constante saturación de agua, limitando su oxigenación).
- Bajo la capa de pumicita se presentan estratos de texturas gruesas parcial o totalmente cementadas, que limitan el drenaje en profundidad.
- Presentan alta acumulación de materia orgánica hacia la superficie (evolución en condiciones de alta humedad), existiendo incluso suelos turbosos.

Limitantes más frecuentes

- Escasa profundidad arraigable en terrenos de pendientes fuertes.
- Restricción en drenaje interno en terrenos planos y casi planos.
- Deficiencias de P, limitaciones de N, Ca, Mg y K.

4) Suelos Ñadi

Distribución

- En la Depresión Intermedia entre Paillaco y Chiloé. Se presentan en terrenos bajos y planos.

Origen

- Derivados de cenizas volcánicas modernas, sedimentadas sobre depósitos fluvioglaciales de gravas redondeadas y texturas gruesas con diversos grados de cementación.

Propiedades y Características

- Drenaje lento a muy lento, dado por el relieve, impermeabilidad producto de acumulación de óxidos férricos entre horizontes, y presencia de horizontes inferiores cementados (acumulación de agua durante la segunda mitad de otoño y en invierno).

- Profundidad variable. Las planicies con mayor acumulación y evacuación de agua generalmente son de menor profundidad.
- Los horizontes superiores presentan un muy alto contenido de materia orgánica, y con frecuencia son de carácter turboso.
- Textura superficial franca y en profundidad se vuelve más fina, generalmente franca arcillosa a arcillosa.
- Son suelos ácidos, con alta capacidad de intercambio catiónico, pero baja capacidad de saturación de bases.

Limitantes más frecuentes

- Restricción o impedimento en el drenaje interno del suelo. Anegamiento invernal.
- Poca profundidad de arraigamiento y total.
- Acidez y baja disponibilidad de nutrientes (N y P limitantes, y además baja disponibilidad de Ca, K, Mg y S).

5) Suelos Rojo Arcillosos

Distribución

- Interrumpidamente entre Talca y Llanquihue, a través de la Depresión Intermedia y faldeo oriental de la Cordillera de la Costa, con mayor extensión en Malleco y Cautín.

Origen

- A partir de cenizas volcánicas antiguas. Al norte de Cautín descansan sobre conglomerados andesíticos y basálticos, tobas y brechas volcánicas altamente meteorizados y compactados, mientras que hacia el sur, se encuentran sobre morrenas de origen glacial, areniscas o rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa.

Propiedades y Características

- Textura franco arcillosa a arcillosa.
- Densidad aparente media a alta.
- Profundidad y drenaje interno dependiendo de la topografía. Profundidades moderadas a profundas, disminuyendo hacia las cumbres y laderas altas y aumentando hacia la base de las laderas cóncavas, mientras que en los terrenos planos bajos disminuye.
- En áreas de anterior uso agropecuario muy intenso o inadecuado, la profundidad generalmente es menor.

- A menudo presentan drenaje restringido, hecho que se acentúa al disminuir la pendiente.

Limitantes más frecuentes

- Escasa profundidad arraigable y de desarrollo, ligada a restricciones en el drenaje interno, por su densidad aparente alta (estructuras gruesas) en la región centro-norte.
- Baja capacidad de agua aprovechable.
- Acidez y deficiencias en N, P, B y a veces K.
- Bajo contenido de materia orgánica.
- Muy escasa profundidad y alta pedregosidad.
- Alta susceptibilidad a la compactación.

6) Arenales

Distribución

- Constituyen el cono aluvial del río Laja, Octava región.

Origen

- Depósitos de material andesítico y basáltico, que cubren materiales diversos como suelos rojo arcillosos, gravas fluvioglaciales o suelos más antiguos.

Propiedades y Características

- Textura arenosa, y a veces franco arenosa (más fina hacia el oeste y más gruesa hacia el este de su distribución).
- Densidad aparente media a alta.
- Muy baja capacidad de agua aprovechable.
- Por lo general muy pobres en materia orgánica.
- Profundidad moderada a muy profunda
- Drenaje interno rápido a muy rápido (existen, sin embargo, áreas con drenaje restringido por napa freática alta o sustratos poco permeables hacia la superficie).

Limitantes más frecuentes

- Baja capacidad de agua aprovechable
- Drenaje interno excesivo

- Baja disponibilidad de N, K, B
- Bajo contenido de materia orgánica
- En algunos casos, nivel freático muy alto.

7) Dunas Litorales

Distribución

- Entre Valparaíso y Osorno, por el litoral. Se concentran en Maule, Concepción y Arauco.

Propiedades y Características

- Características morfológicas y químicas similares a los suelos arenosos.

Limitantes más frecuentes

- Similares a las de los arenales, pero más pronunciadas. En sectores de dunas antiguas, enriquecidas con materia orgánica las limitantes son menores.

8) Sedimentos Marinos

Distribución

- Terrazas litorales desde Cardenal Caro hasta Cautín, de distribución discontinua.

Origen

- A partir de rocas sedimentarias, como antiguos fondos marinos.

Propiedades y Características

- Textura franco arcillo arenosa en la superficie, y más arcillosa en profundidad.
- De profundidad moderada a profunda.
- Drenaje interno moderado.
- Densidad aparente baja a media.

Limitantes más frecuentes

- Acidez.

- Altos niveles de Al (fijación de P)
- Escasa disponibilidad de P, crítico en el balance nutritivo.
- En sectores planos con suelos delgados se presenta drenaje interno restringido.
- Alta susceptibilidad a la compactación.

9) Suelos Aluviales

Distribución

- Interrumpidamente, en la Depresión Intermedia y vertiente oriental de la Cordillera de la Costa desde Santiago al sur (de mayor extensión al norte de Curicó).

A. Suelos aluviales del norte

Origen

- Depósitos de materiales mixtos, andesíticos y basálticos sobre diversos sustratos.

Propiedades y Características

- Textura desde arenosa hasta franca y arcillosa (más fina hacia mayor profundidad)
- Densidad aparente media a alta
- Profundidad moderada a profunda
- Drenaje interno moderado a lento.

Limitantes más frecuentes

- Estructura cerrada en los suelos de textura fina
- Restricciones en la arraigabilidad y en el drenaje interno

B. Suelos Aluviales del sur (vegas)

Origen

- Sedimentos fluviales de diversos materiales (con alta proporción de cenizas volcánicas)

Propiedades y Características

- Sufren de anegamientos invernales (hasta 4-6 meses)

- Profundidad es moderada a muy profunda
- Textura variable, generalmente franco limosos a arcillosos en la superficie, y más arenosos en profundidad.
- Superficie rica en materia orgánica (presentándose incluso suelos turbosos). Régimen moderado de elementos nutritivos.

Limitantes más frecuentes

- Limitada disponibilidad de N, P y bases.
- Drenaje interno restringido.
- Baja profundidad arraigable.

10) Turberas

Distribución

- Terrenos con anegamiento permanente, en el norte de la X Región, sobre los 600 m.s.n.m. y en la Isla de Chiloé hasta el nivel del mar.

Características y Limitantes

- Acumulación de materia orgánica sin descomposición (más de 40 cm de acumulación en el horizonte orgánico).
- Pueden presentar cierta proporción de sustancias minerales, sin embargo la materia orgánica es siempre >30 % del peso seco.
- Extremadamente frágiles.

11) Suelos Pumicíticos

Distribución

- De forma discontinua entre Santiago y Linares, por la porción occidental de la Depresión Intermedia.

Origen

- Antiguos depósitos de pumicitas y materiales de pómez.

Características y Limitantes

- Textura arcillosa.
- Profundidad delgada a moderada.
- Con frecuencia presentan drenaje interno restringido.

12) Sedimentos Lacustres

Distribución

- Interrumpidamente entre Santiago y Malleco, por la Depresión Intermedia.

Origen

- A partir de sedimentos lacustres.

Características y Limitantes

- Textura arcillosa
- Profundidad moderada
- Drenaje interno moderado a muy restringido.
- Densidad aparente media a alta.
- Arraigabilidad restringida.



Programa de Producción Forestal y Medio Ambiente
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad Austral de Chile
Casilla de Correos 567
Valdivia / Chile

Fono +56 63 221637 / 293315 / 293316 / 293092
FAX +56 63 221231
e-mail : proforma@uach.cl

<http://www.uach.cl/proforma>