

1- Marco General

La fragilidad del suelo se refiere a la susceptibilidad o riesgo la degradación o erosión de suelos producto de eventuales desequilibrios en la interrelación de impactos ambientales adversos en las variables geomorfológicas, edáficas, climáticas y vegetacionales e hidrológicas a nivel de una cuenca hidrográfica que generen procesos de erosión y sedimentación que superen los umbrales que afecten la productividad del sitio y medioambiente forestal.

Los procesos de degradación de los suelos se pueden agrupar según la afectación de sus propiedades en:

- físicos: erosión, compactación, deslizamiento, remoción y amasado.
- químicos: alteración del balance nutrientes y formación de materia orgánica, contaminación.
- hídricos: afectación de la disponibilidad y movimiento del agua en el suelo, fluctuaciones del nivel freático.
- biológicos: alteración de la vegetación y poblaciones de microorganismos

Los procesos de degradación se manifestarán según las características intrínsecas de estabilidad y resistencia mecánica del suelo, o bien, de la fragilidad que puede presentar producto de la interacción de factores como la profundidad efectiva del suelo, textura del grupo de suelos al cual pertenece cada situación, el contenido de humedad del suelo al momento de la realización de las actividades de manejo, drenaje interno, la densidad aparente del suelo y la distribución de poros, el contenido de materia orgánica, tipo y estado del material generador, pedregosidad superficial.

Por otro lado existen atributos como la pendiente y disección del terreno, exposición, altitud, longitud de las laderas, contorno topográfico, la intensidad de las precipitaciones y erosividad de las lluvias, que inciden en los procesos de degradación del suelo, configurando un nivel de vulnerabilidad a la degradación.

En el marco de la ley de fomento forestal se definen como Suelos Frágiles aquellos susceptibles de sufrir erosión severa debido a factores limitantes intrínsecos, tales como pendientes, textura, profundidad, drenaje, pedregosidad u otros, debidamente certificados por los organismos competentes que establezca el reglamento de esta Ley.

En relación a esta temática el Artículo 22° del reglamento en referencia del dl 701 consigna algunas variables en el estudio técnico al definir los que corresponde a la calificación de terrenos de aptitud preferentemente forestal cuando se trate de suelos frágiles, deberá considerar, además de lo señalado en el artículo 20 de este Reglamento, la información de fragilidad, certificada por los organismos competentes, la cual deberá considerar las siguientes variables y criterios de decisión:

- a) suelos ubicados en pendientes superiores a 15%.
- b) suelos de textura arenosa o no estructurados.
- c) suelos de profundidad efectiva menor o igual a 0,50 metros.
- d) suelos con pedregosidad superficial sobre 10% y/o en el perfil sobre 30%.
- e) suelos con rocosidad superficial sobre 10% y/o en el perfil sobre 30%.
- f) suelos con riesgo cierto de deslizamientos o remoción en masa.
- g) suelos con riesgo cierto de erosión superficial.

El certificado de fragilidad que emita el organismo competente deberá otorgarse cuando, al menos, una de las variables cumpla los criterios de decisión establecidos precedentemente.

2- Ley de fomento forestal y suelos frágiles

La ley de fomento forestal chilena (1996) tuvo por objetivo regular la actividad forestal en suelos de aptitud preferentemente forestal frágiles, degradados y desertificados e incentivar la forestación, en especial por parte de pequeños

propietarios forestales y de aquella necesaria para la prevención de la degradación, protección y recuperación de suelos del territorio nacional

El análisis para el período 1998-2013, indica que se han bonificado por concepto de modalidades de forestación en suelos frágiles con actividades preparación de suelos y forestación - recuperación de suelos degradados una superficie del orden de 384.180 há y 216.498 há, respectivamente. Lo que representa un logro relevante en términos de incorporar suelos frágiles, erosionados y degradados, al uso viable y sostenible.

En el análisis global para el periodo 1998-2013, se han bonificado mediante ambas técnicas de preparación de suelos y de recuperación de suelos asociadas a la forestación una superficie de 600.679 há. En la actualidad, no se concibe ninguna actividad forestación sin técnicas de preparación y técnicas de conservación de suelos y aguas, en función de las severas limitantes edáficas e hídricas y climáticas de los suelos disponibles a forestar en Chile.

Prácticamente, el 100% de la superficie bonificada vía Ley de Fomento Forestal se foresta empleando técnicas de preparación de suelos (subsulado, subsulado con camellón, casillas manuales, casillas mecanizadas) y técnicas de recuperación de suelos, (principalmente mediante zanjas de infiltración, canales de desviación, diques de madera, microterrazas manuales, entre otras). La evolución anual de la superficie por forestación, mediante la implementación de diversas técnicas de preparación de suelos y recuperación de suelos degradados indicadas se presentan en la Figura 1 y Tablas 1, 2 y 3 adjunto, para el período 1998-2013 y por región, Fuente SAFF-CONAF (Sistema de Administración y Fiscalización Forestal).

En el análisis global para el periodo 1998-2013, como se puede observar en Tabla 01 se han bonificado en suelos APF calificados como frágiles mediante ambas técnicas de preparación de suelos y de recuperación de suelos degradados asociadas a la forestación alcanzando una superficie de 600.679 ha.

Tabla 01: Superficies nacional bonificadas DL 701 por forestación en suelos frágiles y en suelos degradados y forestación periodo 1998 al 2013 (Fuente SAF Conaf)

Superficie nacional bonificada por Forestación y Recuperación de suelos degradados y forestación (há)			
Año	Forestación en suelos frágiles	Rec. suelos degradados y forestación	Total
1998	20.566,37	-	20.566,37
1999	28.874,80	6	28.880,80
2000	42.815,79	18,7	42.834,49
2001	26.203,09	590,16	26.793,25
2002	29.835,34	1.410,55	31.245,89
2003	36.562,65	10.933,67	47.496,32
2004	24.793,82	24.143,86	48.937,68
2005	24.011,58	37.867,37	61.878,95
2006	23.715,02	42.300,69	66.015,71
2007	25.646,05	31.324,04	56.970,09
2008	25.492,35	24.837,19	50.329,54
2009	25.827,62	15.915,08	41.742,70
2010	18.358,92	9.183,86	27.542,78
2011	13.541,09	9.887,26	23.428,35
2012	9.135,24	3.787,66	12.922,90
2013	8.800,76	4.292,55	13.093,31
TOTAL	384.180,49	216.498,64	600.679,13

3- Factores a considerar en la elaboración de un Índice de fragilidad de suelos forestales

3.1- Aspectos metodológicos

De acuerdo a las experiencias desarrolladas en la elaboración de modelos de fragilidad o riesgo de erosión potencial se han considerado los modelos del CIREN, quienes a su vez se basan en trabajos del instituto de suelos de Navarra y estudios del BRGM de Francia.

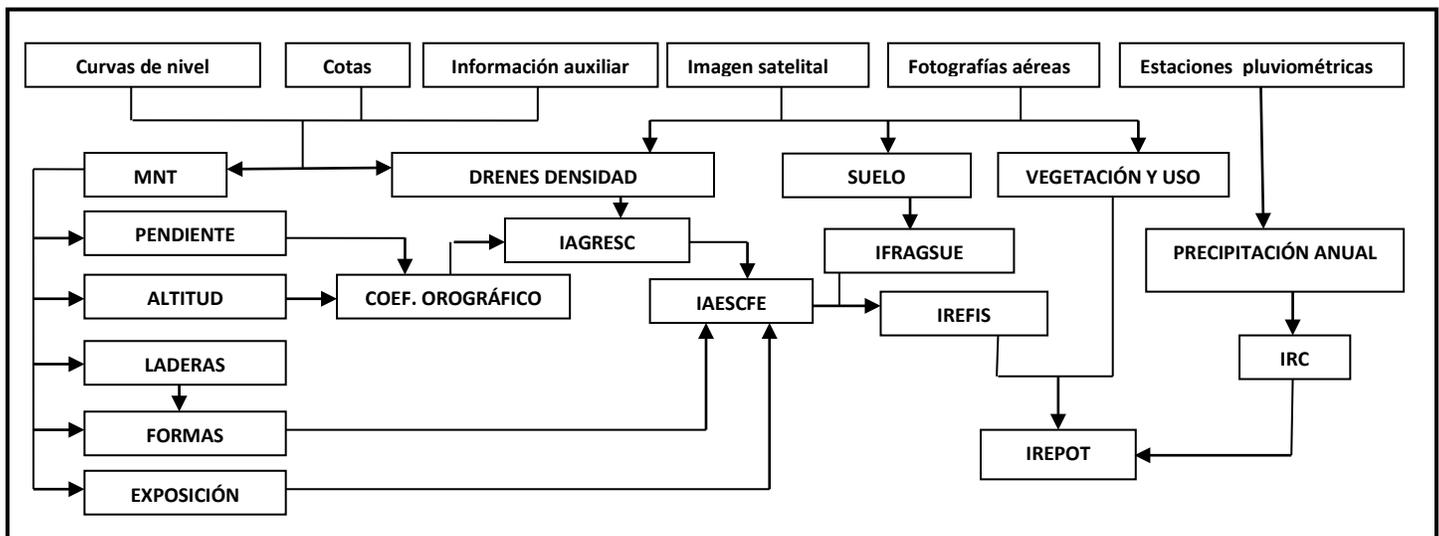


Diagrama del modelo de fragilidad o riesgo de erosión potencial (IREPOT)

Por otra parte, la metodología de la universidad austral (1999) conceptualiza que la fragilidad de suelos va asociada a la susceptibilidad que presenta un suelo en una cuenca hidrográfica de sufrir deterioro y/o degradación en función de factores geomorfológicos, edáficos, vegetacionales y climáticos que los conforman, en relación al nivel intensidad de uso que se le brinda al suelo.

3.2- Factores topográficos

Pendiente:

La pendiente o ángulo de inclinación del terreno es importante por su efecto en el drenaje, la erosividad y la estabilidad del suelo. Mientras mayor es la pendiente más rápido es el drenaje y mayor es el riesgo de erosión y deslizamiento de tierras. Para el sector forestal se utilizan las clases presentadas en el cuadro a continuación.

El aspecto de la pendiente, su forma y gradiente se maneja de acuerdo con los rangos adoptados según la Tabla 02. La pendiente junto a la profundidad efectiva del suelo, constituyen variables fundamentales del componente físico al ser determinantes en las decisiones de establecimiento, cosecha y caminos forestales.

Las actividades indicadas requieren de prácticas silviculturales asociadas que les dificultan a medida que se incrementa la pendiente, a su vez se restringe la operación de maquinaria, además en pendientes pronunciadas el árbol efectúa una fuerza de resistencia para evitar su volcamiento repercutiendo en una menor calidad de la madera.

Del mismo modo, las plantaciones densas en condiciones normales generan mayor sombra y en algunos casos la caída de hojas no permite el crecimiento del sotobosque, que en una alta pendiente podría favorecer la escorrentía superficial y la erosión. Rangos de pendientes mayores al 60%, se debieran incrementar las medidas de control de erosión de suelos.

Tabla 02: Clases de Pendientes

Grados (°)	Porcentaje (%)	Denominación	Clase de pendiente
0 - 2	0 - 3	Plano	Suave
2 - 3	3 - 5	Casi plano	Suave
3 - 6	5 - 10	Ligeramente inclinado	Moderada
6 - 9	10 - 15	Inclinado	Moderada
9 - 17	15 - 30	Inclinación pronunciada	Pronunciada
17 - 30	30 - 58	Inclinación muy pronunciada	Pronunciada
30 - 45	58 - 100	Escarpado	Muy pronunciada
> 45	> 100	Muy escarpado	Muy pronunciada

Fuente: Schlatter, Grez y Gerding (2004)

3.2- Factores Edáficos

Tipo de suelos / material de origen

De acuerdo al material de origen se pueden clasificar los suelos en grandes grupos,

Tabla 03: Grandes grupos de suelos forestales y nivel de fragilidad		
Tipo de suelo	Factor limitante principal	Nivel de fragilidad
granítico	erodabilidad	alta
metamórficos	profundidad efectiva	alta
trumaos	alta erodabilidad	alta
pumiciticos	sin estructura	alta
dunas litorales	erosión eólica	baja
turberas	drenaje	baja
ñadis	drenaje impedido	baja
suelo rojo arcilloso	compactación	media
arenales	sin estructura	baja
sedimentos marinos	erosividad	baja
Sedimentos aluviales	sin estructura	baja
sedimentos lacustres	erosión de fertilidad	baja

En general a mayor fragilidad menor estabilidad edáfica y viceversa , es decir, a mayor grado de agregación de las partículas de los poli-pedones de un perfil de suelo menor fragilidad "suelos estables"

Profundidad efectiva de suelos

La profundidad efectiva incluye la profundidad del perfil del suelo que le resulta favorable para el desarrollo de las raíces. En algunos suelos incluye los horizontes O, A y B y en algunos se encuentra incluido únicamente el horizonte A. La profundidad efectiva de los suelos constituye un parámetro para el desarrollo de operaciones forestales , debido a que las especies arbóreas registran un desarrollo radicular más profundo que las demás especies vegetales, por lo tanto constituye una característica edáfica condicionante para su establecimiento, donde no solamente la rizosfera representa el área de anclaje de donde se acumula y suministra el agua a las plantas y se le suministran los nutrientes para su desarrollo. La clasificación de la profundidad efectiva de los suelos corresponde a las definidas en manual de reconocimiento de suelos (2003, Universidad Austral de Chile).

De esta manera, los suelos profundos y muy profundos detentan una mayor estabilidad edáfica en el manejo de plantaciones forestales ; los suelos moderadamente profundos conforman una categoría intermedia con restricciones moderadas y los suelos con profundidades superficiales y muy superficiales detentan una alta fragilidad de suelos ,pueden no son resultar aptos para el establecimiento y/o se intensifican las prácticas de conservación forestales.

Tabla 04: Clases de profundidad efectiva de suelos (Universidad Austral de Chile, 1983)

Clase	Profundidad (cm)
Muy delgado	< 20
Delgado	20-40
Moderadamente profundo	40-70
Profundo	70-120
Muy profundo	> 120

Fuente: elaboración propia

Clase textural

El término "textura del suelo" hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, en donde la granulometría textural de diversos granos individuales en función de su diámetro (arenas, limos y arcillas). Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla. La clase textural constituye un criterio de importancia en el MSPF, debido a que denota los tipos de interacciones que se pueden dar entre el suelo y las plantas, considerando que las propiedades físicas de los suelos se encuentran determinadas por la clase textural.

La textura resulta relevante en MSPF, debido a que incide en la capacidad de intercambio catiónico (capacidad para adsorber elementos nutritivos) y se encuentra relacionada con la proporción y tipo de partículas edáficas (en particular la fracción arcilla y materia orgánica), también influye en el movimiento y capacidad de retención de agua que se encuentra determinada por la distribución de partículas según clase de diámetro. A su vez, se relaciona con la porosidad, espacio entre partículas permite retener y dinamizar el oxígeno, lo que favorece la aireación y la penetración de las raíces del suelo, dinamizando o ralentizando la productividad del sitio forestal.

Suelos de texturas arenosas y limosas resultan altamente susceptibles a la erosión eólica, suelos de texturas limosas y arcillosas detentan riesgos de erosión hídrica y suelos de texturas francas registran una relativa estabilidad a los procesos de erosión. Un inadecuado MSPF acelera y reactiva los procesos de erosión y sedimentación.

Tabla 05: Clases de textura de suelos y niveles de fragilidad (Universidad Austral de Chile, 1983)

Nivel de fragilidad	Clase textural
Baja	Franco y arenosa-dunas
Media	Arcillosa
Alta	Arenosa andesítico basalática y Limos
Alta	Proto-suelos, regosuelos, coluvial, afloramientos rocosos y otros substratos geológicos

Drenaje del suelo

La rapidez del desplazamiento del agua libre de un suelo está directamente relacionada con la buena aireación de éste. Por ello, resulta necesario incluir en los reconocimientos de suelos observaciones sobre la calidad del drenaje que ellos presentan.

Drenaje del suelo es la velocidad del movimiento del agua del suelo a través de escurrimiento superficial y percolación (movimiento del agua en el suelo causado por la fuerza de gravedad) que permite eliminar el exceso de agua. Se pueden distinguir dos tipos de drenaje: externo e interno.

Drenaje externo: Se refiere a la velocidad y cantidad relativa de agua que se mueve por escurrimiento sobre la superficie del suelo. Esto incluye el agua que cae como lluvia, como también el agua que escurre desde otros suelos de mayor elevación fisiográfica, ver siguiente cuadro tabla 06.

De acuerdo a las características del perfil del suelo, de la inclinación del terreno del clima y de la cubierta vegetal, se reconocen seis clases de drenaje externo. Para identificarlas deben considerarse las siguientes relaciones generales: el escurrimiento superficial se ve favorecido en suelos de textura fina, con mayor grado de compactación, en terrenos de mayor pendiente, en climas más lluviosos (o con lluvias torrenciales) y con menor cubierta vegetal. Por el contrario, el drenaje externo se reduce por factores como suelos de textura gruesa, alta macroporosidad, terrenos planos, menores precipitaciones y cubierta vegetal más densa.

Tabla 06: Clases de drenaje externo del suelo

Clase de drenaje externo	Características de los terrenos
<p>Inundado: el agua no escurre y debe moverse por infiltración o por evaporación. Puede fluctuar en forma estacional o permanecer en forma permanente, salvo que sea drenada.</p>	<p>Terrenos bajos, hundidos o deprimidos.</p>
<p>Muy lento: el agua superficial escurre tan lentamente que hay agua empozada en la superficie periódicamente, por largos periodos (meses o semanas).</p>	<p>Terrenos en valles o llanuras planas o de pendiente muy reducida (<0,5%). donde converge el agua desde sectores más altos.</p>
<p>Lento: el agua superficial escurre tan lentamente, que hay agua empozada sobre el suelo periódicamente por periodos moderados a cortos (semanas a días).</p>	<p>Terrenos planos sin pendiente natural para el desagüe o pendiente muy reducida(< 0,5%).</p>
<p>Moderado: el agua superficial escurre en forma tal, que no se acumula agua libre en la superficie.</p>	<p>Terrenos de pendiente suave a moderada (0,5- 15%)</p> <p>La posibilidad de erosión puede ser ligera a moderada cuando se cultivan los suelos de esta clase.</p>

Rápido: el agua de precipitación se mueve rápidamente sobre la superficie del suelo. En general son terrenos de pendientes pronunciadas.	Terrenos de pendiente pronunciada (15-60%%). La posibilidad de erosión fluctúa de moderada a alta.
Muy rápido: la mayor parte del agua precipitada escurre rápidamente, dificultándose la infiltración.	Terrenos con pendientes muy pronunciadas (>60%). La posibilidad de erosión es muy alta.

El Drenaje interno está determinado por la infiltración y la percolación del agua en profundidad y/o en sentido de la pendiente. Se distingue por la frecuencia y duración de los periodos de saturación con agua y depende de la textura, estructura y otras características del suelo. También de las características de los materiales subyacentes y del nivel freático, ver siguiente cuadro.

Tabla 07: Clases de drenaje interno del suelo

Clase de drenaje interno	Efectos en los vegetales
Ninguno: el agua libre no se mueve en el perfil del suelo. En regiones húmedas el nivel freático está en o muy próximo a la superficie. El suelo está permanentemente saturado con agua. En suelos pobres en materia orgánica es típica una coloración grisácea debido a procesos de reducción; en suelos ricos en materia orgánica el color es muy oscuro o negro.	Permite el crecimiento sólo de especies adaptadas a condiciones de anegamiento permanente.
Muy lento o muy pobre: los horizontes pobres en materia orgánica presentan colores claros, generalmente grisáceos, producto de procesos de reducción; en horizontes ricos en materia orgánica el color es muy oscuro o negro. También son	El drenaje interno es demasiado lento para un crecimiento óptimo de los cultivos más importantes en las regiones húmedas e incluso en las regiones semiáridas. Son suelos que permiten sólo especies

<p>frecuentes las concreciones y los moteados. El suelo puede estar saturado con agua en la zona de las raíces por pocos meses o gran parte del año. Este drenaje puede ser causado por un nivel freático alto, en el caso de la cercanía de un río, lago o simplemente por un horizonte poco permeable.</p>	<p>adaptadas a una saturación prolongada del suelo.</p>
<p>Lento, imperfecto o pobre: los horizontes pobres en materia orgánica presentan tonalidades grisáceas debido a procesos de reducción (gleyzación); presentan concreciones y moteados que indican la alternancia de periodos de saturación con agua y de aireación en el suelo. Muchos suelos con drenaje interno lento tienen niveles freáticos permanentes relativamente altos, o bien tienen un nivel freático fluctuante. La saturación con agua se mantiene por largos periodos, generalmente sobre dos semanas.</p>	<p>El drenaje interno es demasiado lento para un crecimiento óptimo de los cultivos más importantes en la región y permiten sólo especies adaptadas a periodos prolongados de anegamiento en el suelo, siendo más favorable para éstas el agua en movimiento (más oxigenado).</p>
<p>Moderado: el suelo está libre de moteado y de concentraciones, especialmente en los horizontes A y B. La saturación con agua se limita a unos pocos días y no alcanza a dañar las raíces de las plantas de cultivo.</p>	<p>Presenta condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos más importantes.</p>
<p>Rápido: suelo libre de moteados y concentraciones. La saturación del perfil con agua sólo ocurre por algunas horas.</p>	<p>El drenaje es tan rápido que puede afectar el crecimiento óptimo de la mayor parte de los cultivos de la región.</p>
<p>Muy rápido o excesivo: no presentan moteados ni concentraciones. El movimiento del agua en el perfil es muy rápido debido a la porosidad gruesa. El suelo nunca está saturado con agua. El nivel freático se encuentra a varios metros de profundidad o no existe.</p>	<p>Este drenaje es demasiado rápido para el crecimiento óptimo de los cultivos más importantes adaptados a la región.</p>

El drenaje restringido del suelo generalmente induce en éste la formación de ciertos colores que son típicos de los fenómenos de reducción (Cuadro 11). Sin embargo, no siempre se observa una relación entre el drenaje restringido y la coloración del suelo.

Grado de erosión de suelos

La erosión es un proceso de degradación física e integral que consiste en el desgaste de la superficie del suelo por el desprendimiento y transporte del suelo y de otros materiales a través de la acción del agua en movimiento y el viento. Los grados de erosión reflejan la intensidad actual y la afectación en superficie por los procesos de erosión

El **Artículo 21°**.del reglamento de la ley señala que el estudio técnico para calificar terrenos de aptitud preferentemente forestal que comprenda suelos degradados, deberá identificar, además de lo señalado en el artículo anterior, las categorías de erosión que sufren tales terrenos, según se trate de erosión moderada, severa o muy severa, de acuerdo a los siguientes criterios:

A.- La categoría de erosión moderada se puede manifestar en tipos de erosión laminar o de manto de nivel medio, o en surcos o de canalículos, debiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores de erosión:

A.1- presencia del subsuelo en un área menor al 15% de la superficie.

A.2- presencia de pedestales y pavimentos de erosión en, al menos, el 15% de la superficie.

A.3- pérdida de suelo original entre el 20 y 60%.

A.4- presencia de surcos o canalículos, de profundidad menor a 0,5 metros.

A.5- pérdida de más de un 30% del horizonte A (orgánico-mineral).

B.- La categoría de erosión severa se puede manifestar en tipos de erosión laminar o de manto intensivo, o de zanjas o cárcavas, debiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores de erosión:

B.1- presencia del subsuelo en un área entre 15 y 60% de la superficie.

B.2- presencia de pedestales y pavimentos de erosión entre el 15 y 60% de la superficie

B.3- pérdida del suelo original entre el 60 y 80%.

B.4- presencia de zanjas o cárcavas de profundidad de 0.5 a 1 metro, encontrándose a un distanciamiento medio de 10 a 20 metros.

B.5- pérdida de hasta un 30% del horizonte B.

C.- La categoría de erosión muy severa se puede manifestar en tipos de erosión laminar o de manto muy acelerado, o de cárcavas, debiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores:

C.1- se presenta a la vista el subsuelo y se encuentra visible el material de origen del suelo, en más del 60% de la superficie.

C.2- presencia de pedestales y pavimentos de erosión, en más del 60% de la superficie.

C.3- pérdida de suelo original entre el 80 y 100%.

C.4- presencia de cárcavas de profundidad mayor a 1 metro, encontrándose a un distanciamiento medio de 5 a 10 metros.

C.5- pérdida de más del 30% del horizonte B.

Esta variable se traduce en una pérdida relevante de las superficies productivas a nivel país, que incide determinadamente en disminución de la productividad del sitio forestal, la generación de erosión y sedimentos que consecuentemente alteran el rendimiento y calidad hidrológica forestal a nivel de suelos y cuencas hidrográficas.

Para una plantación forestal se requiere que el grado de erosión "ideal" sea inferior a ligera o moderada, debido a que la pérdida del suelo afecta el espesor, la profundidad de enraizamiento y el anclaje físico que en el almacenamiento y suministro de agua y nutrientes, que perjudica el establecimiento y crecimiento normal de las plantaciones y el rendimiento hidrológico de plantaciones forestales. Se estima, según UNDA, A.,1994, INFOR, señalan que el 90 % de las plantaciones forestales se establece en suelos erosionados.

Compactación de suelos / densidad aparente

Entre los factores más importantes que inciden en los procesos de erosión y sedimentación a nivel de suelos y cuencas hidrográficas debe considerarse la

compactación de suelos . Su determinación se logra a través de métodos estandarizados de laboratorio de relava simpleza y costo. Sin embargo, a través de observaciones y mediciones en terreno es posible obtener una adecuada estimación de la compactación , la cual permite establecer una significativa relación con la productividad del sitio forestal en términos edafológicos, hidrológicos, construcción de caminos y cosecha.

La estimación de la compactación debe considerar los factores que la determinan, como la textura, el contenido de materia orgánica, el volumen de pedregosidad y la el profundidad del suelo. La Compactación disminuye con un creciente contenido de materia orgánica del suelo, con texturas medias y suelos más profundos. En cambio, disminuye con mayor pedregosidad, con mayores densidades del suelo, con texturas extremas y suelos menos profundos.

Su medición resulta accesible para los forestadores, pequeños y medianos propietarios mediante instrumentos como el penetrometro, método del terrón o cilindro disponibles en el mercado nacional, ampliamente usado por la agricultura de cultivos intensivos.

Tabla 08: Relación de estructura y densidad aparente del suelo

Grado de densidad aparente del suelo	Estructura asociada del suelo
Alto	De grano simple o masiva muy compacta; de agregados grandes, cerrada y de gran cohesión.
Medio	De grano simple o masiva, ni suelta ni compacta: de agregados medios, semiabierta a abierta y de cohesión moderada.
Bajo	De grano simple o masiva suelta; de agregados finos, espaciada y de poca cohesión.

Si se cuenta con la determinación de la densidad aparente a través de análisis de laboratorio, puede emplearse la pauta del siguiente cuadro para evaluar su grado de compactación.

Tabla 09: rangos de densidad aparente del suelo (g/cm³)

Textura	Densidad aparente				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
T	< 0,6	0,6 – 0,9	0,9 – 1,2	1,2 - 1,5	> 1,50
tL	< 0,6	0,6 – 0,9	0,6 – 1,25	1,26 – 1,55	> 1,55
L, U	< 0,8	0,8 – 1,15	1,16 – 1,35	1,36 – 1,60	> 1,60
S	< 1,0	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,4 – 1,65	> 1,65

Fuente: (T: arcilla; tL: franco arcilloso; L: franco; U: limo; S: arena).

Capacidad de uso del suelo

Sobre la base del reconocimiento de suelos estos pueden clasificarse en base a su capacidad de uso. El objetivo de esta clasificación es poder diferenciar los suelos de acuerdo a su potencialidad de uso, considerando su conservación. Para la determinación de la capacidad de uso del suelo, se recurre principalmente a los factores limitantes que éste presente, dentro de los cuales algunos de estos se pueden deber a la intervención antrópica (Shlatter, Grez y Gerding, 2004). Dentro de los principales factores limitantes se encuentra: pendiente, erodabilidad o susceptibilidad a erosión, penetración de raíces, rocosidad, riesgo de inundación, pedregosidad, texturas extremas, consistencia (densidad), retención de agua, limitantes climáticas, fertilidad natural y salinidad.

La clasificación de los suelos según su capacidad de uso considera ocho clases, desde la I a la VIII, siendo este último tipo de aquellos suelos sin fines productivos. Las clases I-IV corresponden a los suelos arables y los suelos V-VIII los no arables.

En general las clases de capacidad de uso se definen en función de aptitudes y limitantes. A mayor capacidad de uso mayores limitantes, mayor fragilidad de suelos y se requieren prácticas más intensivas de conservación de suelos.

Tabla 10: Clase de capacidad de uso clases de fragilidad de suelo y factores limitantes

Clase de uso	Capacidad de uso	Factores limitantes
I-IV	estable “baja”	como suelos APF forestal no resultan relevantes “forestables”
V	baja	drenaje interno impedido
VI	media	moderada susceptibilidad erosión (e)
VI e	alta	riesgo erosión severa y muy severa (ee)
VII	media	riesgo erosión moderada (e)
VII ee	alta	riesgo de erosión severa y muy severa (ee)
VIII	alta	protección de suelos aguas cuencas y biodiversidad

CUADRO 14: CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LOS SUELOS DE SECANO

TIPO DE CARACTERÍSTICAS	SUELOS ARABLES				SUELOS NO ARABLES			
	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V	CLASE VI	CLASE VII	CLASE VIII
Período de sequía de verano	De corta duración	De corta duración	De larga duración	Muy larga duración	Variable	Variable	Variable	
Heladas de primavera	Ocasionales	Ocasionales a ligeras	Ocasionales a fuertes	Ocasionales a fuerte	Ocasionales a fuerte	Ocasionales a fuerte	Ocasionales a fuerte	
Aptitud para cereales	Buena	Buena	Buena a limitada	Limitada	Mala	Mala	Mala	
Aptitud para chacras	Buena	Buena a moderada	Limitada	Mala	Mala	Mala	Mala	
Aptitud para viñas	Buena	Buena	Buena	Limitada	Mala	Mala	Mala	
Aptitud para frutales	Buena	Buena	Limitada	Mala	Mala	Mala	Mala	
Fertilidad natural	Buena a moderada	Moderada	Buena a baja	Buena a baja	Buena a baja	Buena a baja	Buena a baja	
Pendiente	Planos a ligeramente inclinada	Moderadamente inclinados o con micro relieve	Planos a moderadamente inclinados	Planos a fuertemente inclinados	Planos a ligeramente inclinados	Fuerte a muy fuertemente inclinados	Muy fuertemente inclinados	Terrenos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Solo para vida silvestre.
Profundidad del suelo	Profundos a muy profundos	Moderada	Profundos a delgados	Moderados a delgados	Delgados	Profundos a delgados	Profundos a delgados	
Textura	Media	Ligeramente arenosos o arcillosos	Muy arenosos a muy arcillosos	Muy arenosos a muy arcillosos	Muy arenosos a muy arcillosos	Muy arenosos a muy arcillosos	Muy arenosos a muy arcillosos	
Susceptibilidad a la erosión	Sin	liger a moderada	Moderada a fuerte	Muy fuerte	Sin	Fuerte	Muy fuerte	
Drenaje	Bueno	Ligeramente impedido	Bueno a deficiente	Bueno a deficiente	Deficiente	Bueno	Bueno	
Nivel de aguas subterráneas	Profundo	Profundo a moderado	Profundo a superficial	Normalmente superficial	Superficial	Profundo	Profundo	
Riesgos de inundaciones	No hay	Ocasional	Cortos y ocasionales	Frecuentes y largos	Frecuentes y largos	No hay	No hay	
Pedregosidad superficial	Ninguna	Moderada	Fuerte pero sin acción en cultivo	Fuerte limitado el cultivo	Muy abundante	Ligera a moderada	Ligera a fuerte	
Rendimiento	Excelente a buenos	Buenos a satisfactorios	Deficientes	Bajos	Buenos a bajos	Buenos a bajos	Buenos a bajos	
Salinidad	Ninguna	Ninguna a ligera	Ninguna a moderada	Ninguna a fuerte	Ninguna a fuerte	Ninguna	Ninguna	
Grado de intensidad de uso del suelo	Suelos de cultivos muy intensivos	Suelos de cultivos intensivos	Suelos de cultivo moderado	Suelos de cultivo limitado	Pastoreo o explotación forestal intensiva	Pastoreo o forestal moderada	Pastoreo o explotación forestal limitada	Dunas áridas, pantanos, roqueríos, etc.

Clase	Características	Usos principales	Usos secundarios	Medidas de conservación
Tierras adecuadas para el cultivo				
I	Tierra excelente, plana y bien drenada	Agrícola	Recreación, vida silvestre, pastura	Ninguna
II	Buena tierra con limitaciones menores, como pendiente ligera, suelo arenoso o drenaje deficiente	Agricultura, pastura	Recreación, vida silvestre, pastura	Cultivo de franjas, labranza de contorno
III	Terrenos moderadamente bueno con limitantes importantes en suelo, pendiente y drenaje	Agricultura, pastura, cuenca colectora	Recreación, vida silvestre, industria urbana	Labranza de contorno, cultivo de franjas, vías fluviales, terrazas
IV	Tierra regular, limitaciones severas en suelo, pendiente o drenaje	Pastura limitada, huertos, agricultura limitada, industria urbana	Pastura, vida silvestre	Labranza de contorno, cultivo de franjas, vías fluviales, terrazas

Clase	Características	Usos principales	Usos secundarios	Medidas de conservación
Tierras no adecuadas para el cultivo				
V	Rocosa, suelo somero, humedad o pendiente alta, imposibilidad de agricultura	Apacentamiento, silvicultura, cuenca colectora	Recreación, vida silvestre	Sin precauciones especiales, si se pastorea o tala de manera apropiada, no debe ararse
VI	Limitaciones moderadas para apacentamiento y silvicultura	Apacentamiento, silvicultura, cuenca colectora, industria urbana	Recreación, vida silvestre	El apacentamiento y la tala deben limitarse a determinada época
VII	Limitaciones severas para apacentamiento silvicultura	Apacentamiento, silvicultura, cuenca colectora, recreación paisaje estético vida silvestre		Si requiere una administración cuidadosa cuando se utiliza para apacentamiento y tala
VIII	Inadecuada para apacentamiento y silvicultura a causa de fuertes pendientes, suelo somero, carencia de agua o demasiada agua	Recreación, paisaje estético, vida silvestre, industria urbana		No se usa para apacentamiento o tala

Fuente: INEGI (2008)

3.3- Factores vegetacionales

Uso actual del suelo

Hace referencia al uso actual que se le brinda al suelo,. En este sentido CONAF (2001) en el marco del Catastro de Bosque Nativo define los siguientes usos:

Tabla 1: Uso actual del suelo

Uso	Categorías del catastro involucradas
Agrícola	Terrenos de Uso Agrícola. Otros Terrenos Húmedos. Rotación Cultivo-Pradera. Vegas.
Bosque mixto	Bosque Nativo - Plantación Abierto, Semidenso y Denso. Bosque Nativo - Exóticas Asilvestradas Abierto, Semidenso y Denso. Bosques Exóticas Asilvestradas.
Bosque nativo	Renoval Muy Abierto, Abierto, Semidenso y Denso. Bosque Nativo Achaparrado Abierto, Semidenso y Denso. Bosque Nativo Adulto – Renoval Muy Abierto, Abierto, Semidenso Denso. Bosque Nativo Adulto Abierto, Semidenso y Denso.
Matorral	Matorral Pradera Muy Abierto, Abierto, Semidenso y Denso. Matorral Muy Abierto, Abierto, Semidenso y Denso.
Plantación	Plantación Joven - Recién Cosechada. Plantación de Arbustos. Plantación.
Pradera	Pradera. Praderas Anuales. Praderas Perennes. Estepa Andina Central y Patagónica.

Fuente: CONAF (2011)

En este contexto Conaf clasifica la vegetación en los siguientes rangos e índices vegetacionales:

Tabla 12: Rangos e índices de vegetación

Rangos de vegetación	clase vegetacional	nivel de fragilidad
Abierta	0-25%	Alto
Semi-cerrada	25-50%	Medio
cerrada	>50	bajo

3.4 Factores Hidro-climáticos

Por desarrollar

4.2 Propuesta de Categorías de Fragilidad
4.2.1 CATEGORÍA DE FRAGILIDAD DE SUELOS: BAJA

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Propiedades edáficas	En lo central corresponde a suelos profundos , pendientes menores al 15 %, de texturas francas y/o texturas arenosas ,buen drenaje externo e interno ,clases de capacidad de uso I-IV
Tipo de Suelos que aplica	Suelos de origen de sedimentos de 3 tipos de suelos : marinos, lacustres y aluviales Se aplica a suelos del tipo arenales y de dunas costeras
Riesgos	Presentan ligeros riesgos de erosión superficial , compactación superficial ,deslizamiento y remoción de suelos por el empleo de maquinaria , lo que se encuentra condicionado en función de la intensidad de las precipitaciones
Operaciones	Las operaciones normales de establecimiento, cosecha y construcción de caminos resultan apropiadas con nulas o escasas restricciones Con adecuada planificación y supervisión se causa una degradación relativamente menor al suelo empleando Skidders sobre orugas y bajo condiciones meteorológicas favorables.

4.2.2 CATEGORÍA DE FRAGILIDAD DE SUELOS: MEDIA

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Propiedades edáficas	En lo central corresponde a suelos moderadamente profundos , pendientes del entre el 15 y 45 %, de texturas intermedias arcillosas y limosas , drenaje externo e interno moderado ,clases de capacidad de uso VI e y VII e
Tipo de Suelos que aplica	Suelos de origen granítico, metamórficos, trumaos de lomajes y pendientes escarpadas, rojos arcillosos
Riesgos	Presentan riesgos moderados a la degradación y erosión superficial y compactación superficial del suelo , ,deslizamiento de suelos, remoción y exposición del subsuelo por el empleo de maquinaria , lo que se encuentra condicionado en función de la intensidad de las precipitaciones
Operaciones	<p>Las operaciones normales de establecimiento, cosecha y construcción de caminos requieren restricciones y medidas de mitigación acorde al nivel de impacto</p> <p>Con adecuada planificación y supervisión se causa una degradación relativamente menor del suelo empleando. Skidders sobre orugas y bajo condiciones meteorológicas favorables.</p> <p>La construcción de caminos pueden generar fallas menores en taludes y erosión superficial.</p> <p>Se recomiendan restricciones a la práctica de cosecha para minimizar los impactos de madereo en condiciones de suelos secos o frescos, minimización de excavaciones durante la construcción de vías de saca,</p> <p>El empleo de skidders con neumáticos de alta flotación o tractores sobre orugas genera baja presión al suelo</p>

4.2.3 CATEGORÍA DE FRAGILIDAD DE SUELOS: ALTA

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Propiedades edáficas	En lo central corresponde a suelos delgados , pendientes mayores a 45%, de texturas intermedias arcillosas y limosas , drenaje externo rápido y muy rápido, drenaje interno excesivo, clases de capacidad de uso VI ee, VII ee y VIII, con alta pedregosidad y rocosidad superficial
Tipo de Suelos que aplica	Suelos de origen granítico, metamórficos, trumaos rojos arcillosos de pendientes abruptas y muy abruptos
Riesgos	Presentan altos y muy altos riesgos a la degradación y erosión superficial del suelo , pueden generar alta compactación superficial del suelo , propensos a una alta y muy alta susceptibilidad al deslizamiento y remoción de suelos, con exposición del subsuelo por el empleo inadecuado de maquinaria , lo que se encuentra condicionado en función de la intensidad de las precipitaciones
Operaciones	<p>Las operaciones normales de establecimiento, cosecha y construcción de caminos requieren de intensas restricciones y medidas de mitigación complejas</p> <p>Presentan severas a muy 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. Sistemas de madereo con cables pueden generar degradación en suelos muy fragiles .</p> <p>En rangos de pendiente abruptas y muy abruptas el madereo y la construcción de caminos causan un excesivo desplazamiento de suelo, fallas de taludes y erosión superficial de alta intensidad de tipo laminar ,zanjas y cárcavas.</p> <p>La construcción de caminos pueden causar fallas extensas en taludes y erosión superficial extensa e intensa , significando altos costos de mantenimiento y rehabilitación.</p>

	Se deben clasificar determinados ambientales restrictivos y definirlos como áreas de protección y preservación
--	--