

METODOLOGIA PARA ESTIMAR LA FRAGILIDAD DE TERRENOS FORESTALES

Jorge Gayoso A. y Andrés Iroumé A.

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia

RESUMEN

Este trabajo propone un método de clasificación ecológica para asistir a la planificación de las operaciones de cosecha y así ayudar al control del impacto que estas operaciones producen sobre el sitio. El método emplea las facilidades que proporcionan los Sistemas de Información Georreferencial (GIS) y consiste en clasificar mediante taxonomía numérica cada unidad de observación en niveles de fragilidad, derivados de los parámetros pendiente, exposición, erodabilidad y resistencia mecánica del suelo, condiciones de drenaje y profundidad del perfil. Para un área de aplicación situada en la Cordillera de la Costa de la provincia de Valdivia, el método permite una clara diferenciación del terreno en cinco niveles de fragilidad. Se propone para cada nivel una serie de recomendaciones para la planificación de operaciones de cosecha y construcción de caminos.

ABSTRACT

GAYOSO A & A IROUME (1991) A method for assessing the fragility of forest lands. Medio Ambiente 11 (2): 13-24.

This study proposes a method of forest lands ecological classification to assist harvesting operation planning in order to control the impact of such operations on forest sites. The method based in the use of Geographic Information Systems allows the classification of each area unit into fragility ratings derived upon the parameters slope, aspect, soil erodibility, soil mechanical properties, drainage and profile depth. For an area of the Cordillera de la Costa near Valdivia, the method clearly differentiates the terrains into five levels of fragility. For each level several recommendations for harvesting operation planning and road network construction are proposed.

INTRODUCCION

La planificación de las operaciones de cosecha tradicionalmente considera aspectos como efectividad y eficiencia, es decir, los aspectos de ingeniería y económicos directamente relacionados con la producción forestal. Sin embargo, no siempre se considera la "apropiabilidad" o qué tan bien se ajusta un proyecto en su medio tecnológico, físico, económico, legal, político, cultural y social. Una falta de apropiabilidad física ha generado, bajo algunas condiciones, alteraciones al suelo que se reflejan en una reducción de la productividad de los sitios forestales, un incremento de los niveles

de contaminación de los cursos de agua, y en general una degradación de las cuencas hidrográficas afectadas. La magnitud de estas alteraciones está asociada, entre otros, a la susceptibilidad a la erosión, a propiedades físicas y mecánicas de los suelos, a condiciones ambientales, y al sistema e intensidad de la cosecha forestal (Gayoso e Iroumé 1989, Gessel 1981, Heij y Leek 1981, Beekman 1987).

El mayor grado de mecanización de las operaciones forestales, consecuencia del incremento de los volúmenes de producción, la incorporación de terrenos con mayor grado de pendiente y el hecho de reutilizar sitios en segundas o terceras rotacio-

nes, acentúan, la necesidad de incorporar variables ecológicas en la planificación de las operaciones forestales, (Samset 1990, Kesteren 1986). Esto posibilitaría minimizar el impacto sobre el suelo y los cursos de agua, y mantener la productividad de los sitios en el largo plazo.

El impacto ambiental sobre terrenos forestales puede ser definido principalmente como un problema de uso y manejo. En los últimos años los estudios relacionados con problemáticas de uso de suelos han reconocido y aceptado métodos de clasificación ecológica de los terrenos por medio de taxonomía numérica, los cuales organizan jerárquicamente niveles abióticos (Crisci y López 1983, Kesteren 1986).

El empleo de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) podría servir al objeto de clasificar la fragilidad de los suelos forestales, aún cuando su validez no está probada para el rango de pendientes y longitudes de laderas habituales de las operaciones forestales. Sin embargo, no siempre es fácil contar con la información detallada del régimen de precipitaciones para calcular el factor de erosividad de la lluvia (Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA 1985).

Por su parte, el Índice de Fragilidad propuesto por el Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales (IREN) con fines de prediagnóstico, considera dos grupos de parámetros relacionados con la cobertura vegetal y el suelo y permite dar una idea respecto de la susceptibilidad que presentan los ecosistemas a deteriorarse, producto de un desequilibrio entre las variables geomórficas, climáticas y vegetacionales que los conforman y del uso que de ellos se hace. Sin embargo, su origen está en la interpretación de imágenes satelitales y los mapas desarrollados están a escala 1:500.000, que es inadecuado a nivel de planes operacionales (IREN 1979).

Los autores en apoyo a un proyecto forestal del sector privado, desarrollaron y aplicaron un método de reclasificación de suelos en niveles de fragilidad sobre un área de 150.000 hectáreas, de tal forma de obtener una orientación respecto a cómo desarrollar futuras operaciones de cosecha, (Gayoso *et al.* 1988). Se derivaron tres niveles de fragilidad a partir de una matriz de restricciones que consideró la serie de suelo, la clase de pendiente, el contenido de materia orgánica, el espacio poroso total y la profundidad del perfil. El método permitió discriminar entre unidades de 25 hectá-

reas, identificando aquellas consideradas de mayor riesgo o susceptibles a alteraciones. Sin embargo, por ser un método semi automatizado fue excesivamente consumidor de tiempo y prácticamente no permite su actualización. En 1990 aprovechando las facilidades de los Sistemas de Información Georreferencial (GIS), se adaptó el método modificando la matriz de restricciones por un modelo que permitía calcular un índice numérico representativo de la fragilidad de la unidad de suelo (Gayoso e Iroumé 1990). Los autores continúan perfeccionando el modelo y entregan un adelanto de resultados (Gayoso *et al.* 1991).

Este trabajo presenta la versión actualizada del modelo de los mismos autores. Tiene como objetivo proponer un método para estimar el nivel de fragilidad de terrenos forestales, a partir de información de suelos, topografía y drenaje, con la finalidad de ayudar a la planificación de operaciones de cosecha. El método emplea las facilidades que proporcionan los GIS y se aplica sobre un área cubierta con bosque nativo de la provincia de Valdivia.

AREA DE ESTUDIO

El área de aplicación del método comprende la cuenca exorreica Río Colún ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa de la provincia de Valdivia, la que posee 15.532 hectáreas de superficie. Se desarrolla entre el nivel del mar y los 800 m s.n.m., presenta cumbres aplanadas y se localiza entre el meridiano 73° 30' longitud oeste y el Océano Pacífico, y los paralelos 39° 58' y 40° 05' latitud sur.

Mediciones efectuadas en la estación meteorológica de Quitaluto (39° 54' y 73° 27') muestran los siguientes registros climáticos (San Juan 1982): temperatura media anual 9.5° C, precipitación media anual 3052 mm.

El basamento cristalino predominante originado durante el período Terciario está compuesto por rocas metamórficas de la serie Piedra Laja (micasquistos) con diferente grado de meteorización variando con la altitud (Di Biase y Lillo 1972). Los suelos se han desarrollado a partir de esquistos micáceos y corresponden principalmente a las series Hueicoya (67%), La Pelada (19%) y Chaihuín (8%).

Los suelos dominantes de la serie Hueicoya son moderadamente profundos a profundos, pardo amarillento de texturas moderadamente finas y drenaje moderado, blandos friables en superficie y

firres en profundidad, ligeramente plásticos, (IREN, 1978). La erodabilidad de estos suelos debe considerarse de mediana a alta. Los factores que inciden sobre la fragilidad de este suelo son en primer término factores externos como lo son la pendiente, longitud de las laderas y la alta precipitación. Los factores internos que deben tomarse en cuenta para la conservación de este recurso son: el moderado espesor del suelo, propiedades químicas que acusan un estado nutricional pobre, la presencia abundante de elementos que inhiben el crecimiento vegetal y problemas de conducción de agua en estratos profundos debido a la orientación de la porosidad del material subyacente.

Sobre los 750 m s.n.m. es nítida la presencia de la serie de suelos La Pelada, ubicados en topografía de pendientes bajas, son suelos delgados a muy delgados, de color pardo grisáceo a grises, de texturas moderadamente finas a finas, débilmente estructurados, sueltos, friables, plásticos. Estos suelos se encuentran podsolizados, en estado nutricional muy bajo (Kühne *et al* 1985, Donoso *et al.* 1987). La erodabilidad está dada por la poca profundidad del perfil, una situación extrema de humedad (o muy seco o muy húmedo) y el bajo estado nutricional.

METODO PROPUESTO

Descripción general del método.

El modelo de fragilidad consiste en la construcción de un índice numérico que se deriva combinando los valores de las variables físicas topogra-

fía, suelo, perfil y exposición del terreno, Cuadro 1. Según el valor índice obtenido, el terreno se clasifica en uno de cinco niveles de fragilidad: bajo, moderado, alto, muy alto y extremo. Cada variable se caracteriza a través de componentes y subcomponentes cuyos valores numéricos absolutos son asimilados a una escala referencial de cinco niveles de susceptibilidad a la inestabilidad con una correspondiente nota de clase, Cuadros 2 y 3. Esto permite la más fácil apreciación de la calidad del componente o subcomponente como discriminante en el nivel de fragilidad del terreno:

- CLASE BAJA o de baja incidencia
- CLASE MODERADA o de incidencia media
- CLASE ALTA o de incidencia alta
- CLASE MUY ALTA o de muy alta incidencia
- CLASE EXTREMA o de incidencia extrema

Descripción de las variables y componentes.

La identificación de las variables y componentes con las que se representa el índice de fragilidad tienen relación con el objetivo y la disponibilidad de la información, (IREN 1978, Kesteren 1986). Así por ejemplo, se pueden establecer comparaciones entre unidades según la susceptibilidad de ser afectados por la ocurrencia y magnitud de fenómenos erosivos y cuál es la capacidad del suelo para resistir el impacto de las operaciones de cosecha.

La topografía se caracteriza a través del porcentaje de pendiente. La velocidad y poder erosivo de

CUADRO 1.
Variables, componentes y subcomponentes del modelo.

VARIABLE	COMPONENTES	SUBCOMPONENTES
Topografía	Pendiente	
Suelo	Erodabilidad Propiedades mecánicas	Estabilidad agregados Cohesión Compresibilidad
Perfil	Porosidad Profundidad	
Exposición	Exposición	

a escorrentía superficial aumenta con el grado de pendiente (Rothwell 1978). La pendiente del terreno posibilita discriminar en cuanto al equipo de madereo a utilizar e influye en la localización y características de los caminos. A mayor grado de pendiente mayor será el impacto de las operaciones de cosecha sobre los fenómenos erosivos y ma-

yor la limitación para la operación de equipos de madereo terrestre (Gayoso e Iroumé 1984, Iroumé *et al.* 1989). En la construcción de caminos, a mayor pendiente del terreno generalmente corresponde un mayor volumen de movimiento de tierras y una mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo.

CUADRO 2.

Notas de clase por componente del modelo de fragilidad.

Clase	Nota de clase	Rango pendiente (%)	Rango erodabilidad (K)	Rango porosidad (%)	Rango profundidad (cm)	Exposición
Baja	1	0 a 15	0.00 a 0.01	> 80	> 90	Zonas Planas
Moderada	3	15 a 30	0.01 a 0.05	70 a 80	70 a 90	Sureste
Alta	5	30 a 45	0.05 a 0.10	60 a 70	45 a 70	Suroeste
Muy Alta	7	45 a 60	0.10 a 0.20	50 a 60	24 a 45	Noreste
Extrema	10	> 60	> 0.20	< 50	< 25	Noroeste

CUADRO 3.

Clases y notas de clase para subcomponentes del componente propiedades mecánicas.

Clase	Nota	Estabilidad de agregados (%) (*)	Cohesión kg/cm ² (**)	Índice de compresibilidad volumétrica (m ² /mm) (***)
Baja	1	menos de 10	más de 1	menos de 0.05
Moderada	3	10 a 20	0.5 a 1.0	0.05 a 0.1
Alta	5	20 a 30	0.25 a 0.5	0.1 a 0.3
Muy Alta	7	30 a 40	0.1 a 0.25	0.3 a 1.5
Extrema	10	más de 40	menos de 0.1	más de 1.5

(*) Variación del diámetro medio

(**) Terzaghi y Peck (1971)

(***) Head (1980)

La erodabilidad refleja el efecto combinado de todas las propiedades del suelo que influyen significativamente en el proceso de erosión. El valor de la erodabilidad (k) se obtuvo de acuerdo con la fórmula empírica de Wischmeier y Smith incluyendo un parámetro de tamaño de partículas (limo, arena fina y arcilla), el porcentaje de materia orgánica, la estructura y clase de permeabilidad (INIA 1985). A mayor valor de erodabilidad corresponderá una mayor susceptibilidad a la erosión, condicionando la transitabilidad del suelo, tipo y época de cosecha y sistema de madereo.

Las propiedades mecánicas reflejan la capacidad de soporte del suelo para resistir la aplicación de

las cargas del tránsito de los equipos de madereo y transporte. Considera los subcomponentes estabilidad de agregados, cohesión, e índice de compresibilidad volumétrica.

La estabilidad de agregados es una expresión de la estructura del suelo y mide la resistencia de los agregados a la acción del agua, comparando el diámetro medio a través de análisis mecánico en seco y húmedo (Hartge 1971). A mayor variación del diámetro medio, tanto mayor es la susceptibilidad del suelo a dispersarse por la acción de la precipitación, especialmente en ausencia de cobertura vegetal.

La cohesión es uno de los parámetros que defi-

la resistencia al corte de los suelos y es especialmente sensible a los cambios de humedad. La cohesión es debida a fuerzas de atracción entre las partículas, mecanismos físico químicos y tensión del agua (Ellies *et al.* 1985). A medida que aumenta la humedad disminuye la resistencia del suelo a los esfuerzos, posibilitando la destrucción de la estructura y pérdida de la porosidad. Este efecto en condiciones secas siguientes trae como consecuencia un aumento de la resistencia mecánica al crecimiento radicular, limitando el desarrollo de la vegetación. Suelos con mayor cohesión son menos susceptibles a la erosión.

La compresibilidad de los suelos deducida de ensayos edométricos muestra la capacidad de carga máxima que es capaz de soportar un suelo para una deformación o pérdida de poros deseada o la variación del número de poros en función de las cargas solicitantes (Gayoso y Ellies 1984). Así, este indicador puede mostrar si el pisoteo animal y tránsito de la maquinaria forestal reduce el espacio poroso, la capacidad de intercambio gaseoso y la infiltración. El tránsito forestal puede generar una disminución del espacio poroso especialmente de los poros mayores de 0.2 micrones. Este índice permite por tanto relacionar el equipo de maderero y la época de cosecha con la compactabilidad del suelo. A mayor índice se espera una mayor compactación del suelo.

La porosidad del suelo condiciona, entre otros, el movimiento del agua en el suelo, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica, la capacidad de almacenamiento de agua, la aireación, la conductividad térmica, la resistencia del suelo y la compresibilidad (Standish *et al.* 1988). Si bien a mayor porosidad, dependiendo de la textura, estructura, el contenido de materia orgánica y arcilla puede esperarse una menor capacidad de soporte a la acción de las cargas del tránsito, el suelo se considera menos frágil por su mayor reserva de poros. Una disminución de la porosidad puede indirectamente afectar el crecimiento de los árboles, promover la escorrentía superficial y la erosión. A mayor porosidad, menor es la susceptibilidad a la erosión por escurrimiento superficial y mayor la tolerancia a la acción mecánica.

El perfil del suelo es la sucesión de horizontes hasta llegar al material generador y una expresión de todos los procesos de formación del suelo. A menor profundidad del perfil corresponde una menor reserva de suelo y una mayor fragilidad.

La exposición en consideración de las precipitaciones, asoleamiento y dirección de los vientos predominantes resulta indicador de parte de la meteorización física que sufren las laderas. Así por ejemplo, en la zona de aplicación, las laderas de exposición noroeste se consideran más frágiles por ser más susceptibles a fenómenos erosivos.

Construcción del índice numérico

Las ponderaciones de las variables, componentes y subcomponentes se obtuvieron por consulta a especialistas y aplicación del método de comparación de pares, Cuadro 4. Se definieron 7 combinaciones de pesos relativos de los criterios y componentes, correspondiendo el modelo 7 a la distribución de ponderaciones de consenso.

El índice numérico que se asigna a cada unidad de terreno para clasificar su nivel de fragilidad se obtiene de la siguiente expresión:

$$IF = \sum IV_i K_i$$

donde IF es el valor numérico asignado a una unidad de terreno, e IV_i y K_i son el valor índice y el coeficiente de ponderación, respectivamente, de la variable i .

Utilizando una expresión similar, el valor índice para una variable i cualquiera se calcula de:

$$IV = \sum IC_j K_j$$

donde IC_j y K_j son el valor índice y el coeficiente de ponderación respectivamente, del componente j de la variable i .

Por su parte el valor índice de un componente j cualquiera se obtiene de la ecuación:

$$IC = \sum N_n K_n$$

donde N_n y K_n son la nota de clase y el coeficiente de ponderación del subcomponente n del componente j . En los componentes sin subcomponentes o variables sin componentes, se asigna como valor índice la correspondiente nota de clase.

Niveles de fragilidad.

Una vez obtenido el índice de fragilidad, cada unidad de superficie se clasifica según los siguientes cinco niveles:

IF	NIVEL
< 2.6	BAJO
2.6 - 4.2	MODERADO
4.2 - 5.8	ALTO
5.8 - 7.4	MUY ALTO
> 7.4	EXTREMO

CUADRO 4.
Ponderaciones de variables y componentes.

VARIABLE	M O D E L O S						
	1	2	3	4	5	6	7
	P O N D E R A C I O N E S						
* componente							
** subcomponente							
TOPOGRAFIA	1.00	0.60	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50
* pendiente	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SUELO	0.00	0.20	0.20	0.10	0.20	0.20	0.17
* erodabilidad	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
* pp. mecánicas	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
* est. agregados	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
* cohesión	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
* comprensibilidad	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
* porosidad	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.17	0.17
PERFIL	0.00	0.20	0.20	0.20	0.10	0.20	0.17
* profundidad	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EXPOSICION	0.00	0.00	0.10	0.20	0.20	0.20	0.16
* exposición	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Los niveles de fragilidad no consideran el nivel de cobertura actual y muestran preferentemente la susceptibilidad o riesgo a sufrir alteraciones con ocasión de procesos de cosecha.

La descripción de los niveles de fragilidad y una serie de recomendaciones que pueden servir de ayuda a la planificación de las operaciones de cosecha y construcción de caminos se presenta en el Cuadro 5. Las proposiciones consideran las directrices, sobre madereo y construcción de caminos para minimizar la erosión, señaladas por Rothwell (1978), algunos criterios de diseño sugeridos por el manual para el diseño y la construcción de caminos en cuencas frágiles (FAO 1989), las regulaciones vigentes para el South East Hardwood Pulpwood and Sawlog Management Area en Tasmania, Australia y la experiencia de los autores (Gayoso 1982, Gayoso y Ellies 1984, Gayoso e Iroumé 1984; Gayoso e Iroumé 1989).

En general en zonas calificadas en los tres últimos niveles de fragilidad, las operaciones de cosecha se ajustarán de tal forma de evitar madrear sobre los cursos de agua, se evitará cruzarlos y si fuere necesario se hará en forma perpendicular. Los caminos en zonas de topografía accidentada se preferirá construirlos por las cumbres, pero cuidando un drenaje adecuado. Los caminos no penetrarán las fajas de vegetación para protección de cauces de agua o fajas de filtraje, excepto donde el camino cruce un estero o río. Los caminos per-

manentes serán sometidos a mantenimiento periódico y aquellos que se abandonen deberán clausurarse y reforestarse. Los taludes mayores serán tratados de tal forma de otorgarles adecuada estabilidad. Los caminos temporales considerarán la adecuada canalización de las aguas y se ejecutarán con el menor movimiento de tierras posible. Las pendientes longitudinales no superarán el 12 por ciento. En las huellas de madereo, una vez finalizadas las faenas, se facilitará la reimplantación de la vegetación. Las canchas de acopio se localizarán en las cumbres si el terreno es accidentado y a no menos de 20 metros de las fajas de filtraje. Finalizadas las faenas se escarificará la superficie ocupada por las canchas y reimplantará la vegetación.

Empleo del sistema de información geográfico (GIS).

Para los objetivos de este trabajo se ingresó, mediante digitalización, la información cartográfica base correspondiente a la red hidrológica y curvas de nivel, a partir de la Cartografía Regular 1:50.000 producida por el Instituto Geográfico Militar. Además se ingresaron en forma vectorial las series de suelo de la cartografía de IREN-CORFO escala 1:50.000, del estudio de suelos y capacidades de uso; y, cartografía preliminar de las asociaciones vegetacionales proveniente de estudios sobre los tipos forestales Alerce Costero y Siempreverde de

la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile. La información sobre la cobertura fue incorporada sólo con el fin de referenciar las recomendaciones sobre el manejo y uso del suelo con los bosques de mayor interés comercial.

A través de PAMAP GIS (PAMAP Graphics Ltd.), se transformó la información vectorial en información raster, derivando un modelo de elevación y los correspondientes planos de categorías de pendiente y exposiciones. Luego por sobreposición con los mapas de series de suelo y clases de vegetación se obtuvo una serie de polígonos a los cuales

se asoció una base de datos con la información disponible. Manejada la base de datos se derivó un índice de fragilidad según el modelo anteriormente propuesto. Este nuevo atributo se traspasó a cada uno de los polígonos para finalmente producir automáticamente el mapa temático de niveles de fragilidad. La información se manejó a nivel de unidades de superficie de 0.25 hectáreas. La información en cada nivel puede manejarse a diferente nivel de detalle según esté disponible y permite una actualización permanente.

CUADRO 5.

Recomendaciones para la planificación de operaciones forestales y construcción de caminos.

NIVEL	DESCRIPCION
BAJO	Permite todo tipo de operaciones de cosecha forestal tanto en período húmedo como estival: todo tipo de equipo e intensidad. La construcción de caminos no tendrá mayores restricciones que las de dejar suficiente pendiente para evacuación de aguas. Las fajas de filtraje serán de 30 metros a cada lado del curso de agua.
MODERADO	Permite todo tipo de operaciones de cosecha con restricciones mínimas de compactación, drenaje y profundidad del suelo. Por ejemplo suspender el madereo con skidder en época invernal, o el madereo ladera arriba. Las fajas de vegetación serán de 30 metros.
ALTO	Permite todo tipo de operaciones de cosecha sujeta a restricciones de área de la corta, época de cosecha, sistemas de extracción. Son terrenos generalmente de pendientes mayores a 30% o suelos delgados. Las fajas de vegetación se mantendrán en un mínimo de 50 metros a cada lado de los cursos de agua. La construcción de caminos seguirá en general las especificaciones anotadas en la guía para la construcción de caminos de Alberta (Rothwell 1978).
MUY ALTO	Permite algunas operaciones de cosecha asegurando una cobertura mínima remanente mayor a 50%, empleo de madereo con torres, manejo de desechos. No será permitido el tránsito de tractores oruga o skidders. Estas áreas están sujetas a restricciones legales en cuanto al tipo de corta por pendiente y tipo forestal. Las fajas de vegetación a cada lado de los cursos de agua serán de 100 metros. La construcción de caminos seguirá estrictamente las recomendaciones para la construcción en zonas frágiles y tendrá en consideración todas las medidas tendientes a disminuir los procesos erosivos. Especialmente se procederá a tratar los taludes y calzadas.
EXTREMO	No permite operaciones de cosecha irrestrictas, estando sujetas a restricciones limitativas físicas y legales. Estas áreas no se deberían intervenir hasta determinar: límites de erodabilidad, áreas y localización de coups y planificación de la cosecha. Las franjas de vegetación a cada lado de los cursos de agua serán de 200 metros. Se evitará construir caminos en estos sectores.

ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO COLÚN

La cuenca del río Colún sobre la cual se aplica el método se presenta como una unidad de topografía moderada dentro del área costera comprendida entre los ríos Valdivia y Bueno con un 54.24% de la superficie bajo un 30% de pendiente,

Cuadro 6. Del total de la superficie de la cuenca un 32.25% corresponde al tipo forestal alerce costero y un 63.47% al tipo forestal siempreverde en condiciones de bosque maduro, explotado o renoval. La superficie restante es ocupada por matorrales, renoval de canelo y áreas sin vegetación.

CUADRO 6.
Estratificación de la cuenca en categorías de pendiente y tipo de cobertura.

Rango de Pendiente (%)	Superficie Total (ha)	DISTRIBUCION POR TIPO DE COBERTURA (ha)						
		AL	SVF	SVM	SVR	RC	M	OTROS
0 a 15	9399.75	2915.25	1152.75	1059.50	3677.50	106.25	404.25	84.25
15 a 30	577.25	332.00	34.25	81.75	120.50	1.00	2.75	5.00
30 a 45	1067.00	434.25	140.75	192.75	275.25	3.75	5.00	15.25
45 a 60	1351.50	488.75	168.50	336.50	334.50	6.25	0.00	17.00
Más de 60	3136.50	838.25	334.50	1406.75	542.75	9.50	0.00	4.75
TOTALES	15432.00	5008.50	1830.75	3077.25	4950.50	126.75	412.00	126.25

AL = alerce; SVF = siempreverde explotado; SVM = siempreverde; SVR = siempreverde renoval; RC = renoval canelo; M = matorral.

El índice de fragilidad calculado en base al modelo de consenso, permite obtener la clasificación de cada unidad de terreno de la cuenca en los niveles de fragilidad preestablecidos, Figura 1. Se aprecia que los niveles más frágiles se ubican próximos a la parte alta del cauce del río Colún y corresponden a terrenos con fuertes pendientes u otros con suelos extremadamente delgados. El Cuadro 7 resume la distribución de la superficie de la cuenca por nivel de fragilidad y tipo de cobertura. El 42.9% de la cuenca se encuentra en los tres niveles de fragilidad más altos y corresponde principalmente a los terrenos que rodean los cauces de agua. Con las facilidades que ofrece el GIS es posible obtener diferentes salidas gráficas y abrir ventanas en pantalla bajando la escala hasta el nivel deseado, lo que abre buenas posibilidades para la planificación de caminos y cosecha a niveles estratégico y táctico.

En general la cuenca tiene actualmente una cubierta vegetal suficiente para proteger el suelo, con lo cual su condición se puede calificar de estable. Sin embargo, futuras operaciones de cosecha deberán considerar las recomendaciones propuestas a cada nivel de fragilidad, especialmente dado que del total del bosque siempreverde de interés comercial, el 56 por ciento se encuentra en los nive-

les de fragilidad muy alto y extremo.

Por otra parte, no es posible ignorar que además de las restricciones físicas, existen restricciones legales complementarias inescapables como lo constituye el Decreto 490 que declara Monumento Natural a la Especie Forestal Alerce, publicada en el Diario Oficial de 5 de Septiembre de 1977. Esta disposición afecta a 5008 hectáreas.

Además, hay también otras restricciones legales que están sujetas a interpretación. Tal es el caso, particularmente, del Art. 5 de la conocida como Ley de Bosques de 1931, publicada en el Diario Oficial del 31 de Julio de ese mismo año. Con sujeción a la norma que allí se establece, el tipo de intervención y la superficie que se intervenga no depende tanto de restricciones físicas, cuanto de la ubicación de los conglomerados vegetacionales con respecto a la hidrografía. Ello llevó a determinar un plano de corredores de 200 metros a cada lado de los cursos de agua en el área de la zona bajo estudio, lo que constituye una superficie de 8123 hectáreas. Esta superficie destinada a franjas de filtraje podría reducirse al menos hasta un 50% si se consideran las proposiciones de asociar el ancho de estas fajas a la condición de fragilidad.

La suma de las restricciones del tipo forestal alerce y las de franjas de filtraje de los restantes

Los forestales alcanzan a un 66% de la superficie total de la cuenca. Si se agregan como restrictivas las áreas de los dos niveles más altos de fragilidad, este porcentaje sube a 78 por ciento. Además al tipo forestal siempreverde son aplicables sólo los métodos de corta de protección y selectiva, según

lo señalado por el Reglamento 259 que complementa el D.L. 701 de 1974. Por lo tanto, el área analizada desde el punto de vista de futuras operaciones de cosecha se puede definir como de alta sensibilidad o fragilidad.

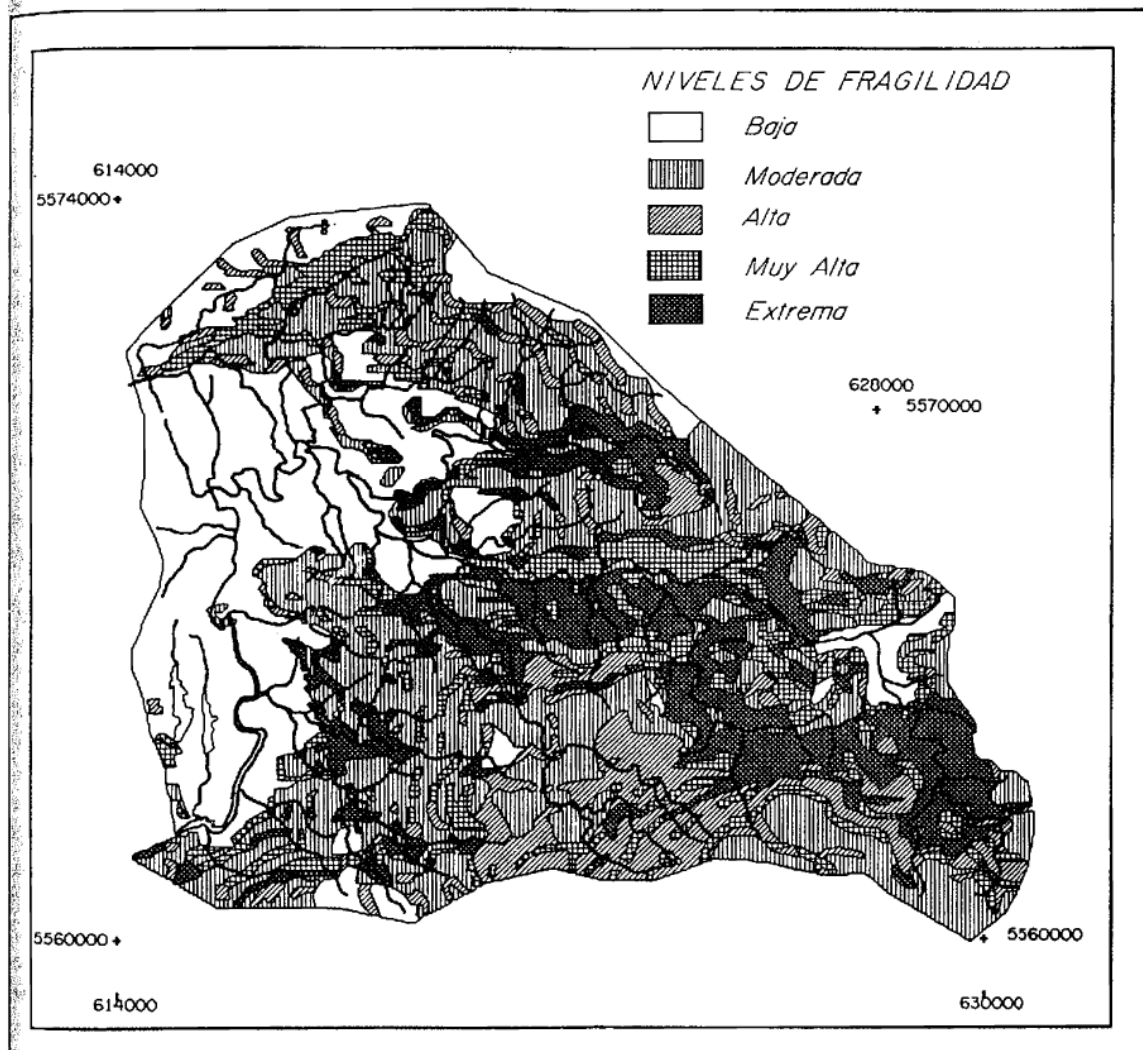


FIGURA 1.
Cuenca del Río Colón y niveles de fragilidad.

CUADRO 7
Nivel de fragilidad por tipo de cobertura actual.

Nivel de Fragilidad	Superficie Total (ha)	DISTRIBUCION POR TIPO DE COBERTURA (ha)						
		AL	SVF	SVM	SVR	RC	M	OTROS
Bajo	4022.25	185.75	463.50	181.25	2629.75	82.25	404.25	75.50
Moderado	4850.00	2125.25	685.00	868.25	1127.25	25.00	2.75	16.50
Alto	2090.25	1131.00	217.00	294.00	423.50	6.25	5.00	13.50
Muy Alto	1962.25	661.00	223.00	645.00	403.25	9.25	0.00	20.75
Extremo	2607.25	905.50	242.25	1088.75	366.75	4.00	0.00	0.00
TOTALES	15532.00	5008.50	1830.75	3077.25	4950.50	126.75	412.00	126.25

AL = alerce; SVF = siempreverde explotado; SVM = siempreverde; SVR = siempreverde renoval; RC = renoval canelo; M = matorral.

DISCUSION

La clasificación de terrenos exclusivamente por pendiente goza de mucha popularidad a la hora de planificar operaciones de cosecha, ya que tiene ventajas por la disponibilidad de la información y en la selección del equipo de maderero. Sin embargo, puede inducir a tomar decisiones erróneas al no considerar la interacción con el suelo. Por ejemplo, como consecuencia de la extracción de la vegetación, pudo constatar que en terrenos de la zona de estudio, clasificados como de pendientes bajas y estables, pueden presentarse variaciones del régimen hídrico y cambios morfológicos del perfil que en casos extremos causaron la muerte de la vegetación remanente (Grez 1987). En el otro extremo, no parece adecuado descartar terrenos exclusivamente por su pendiente, si son suelos bien estructurados, profundos y puede regularse la corta y el sistema de extracción.

En general, el método considera además de la pendiente otras variables relacionadas con la reacción del suelo. Sin embargo, tiene como limitaciones la relativa subjetividad referente al procedimiento para la selección de variables, componentes y subcomponentes para representar la fragilidad de los terrenos y el establecimiento del peso o importancia relativa de cada variable sobre las demás (Iroumé y Gayoso 1987). Lo anterior, lleva a tomar precaución en la aplicación verificando en cada oportunidad si las variables y componentes representan y definen en la mejor forma los objetivos o criterios de la clasificación.

Como muestra de lo anterior se aprecia que los

resultados presentados difieren de los obtenidos por IREN (1978), que definen la totalidad de la zona como "ecosistema estable" con nivel de erosión, leve. La diferencia radica en la disparidad de objetivos, ya que el método de IREN caracteriza la situación actual del área y el método propuesto la susceptibilidad al riesgo de alteración.

La discriminación en cinco niveles de fragilidad mejora la distribución de las superficies en relación a una variable única como la pendiente y la versión anterior de los mismos autores que consideraba sólo tres niveles. Esto refuerza una fracción intermedia diferenciada a su vez en tres niveles con mayor peso relativo, posibilitando diferenciar métodos y recomendaciones para la planificación de la cosecha y construcción de caminos.

Las recomendaciones propuestas en cada nivel de fragilidad no deben entenderse como prohibiciones, sino como técnicas de protección del recurso suelo para asegurar el mantenimiento de la productividad del sitio en el largo plazo. La planificación de la cosecha a nivel operacional en aquellas unidades pertenecientes a las tres categorías más altas de fragilidad requerirá de una comprobación de la información en terreno. Las fajas de filtraje propuestas difieren de aquellas referidas por la legislación vigente, sin embargo parece claro que es un tema a discutir, ya que su ancho debe estar en relación entre otros con las pendientes de las laderas y el tamaño de la cuenca.

Las facilidades que proporciona el empleo del GIS PAMAP resultaron muy adecuadas al propósito del estudio, especialmente en cuanto a las salidas gráficas y posibilidades de actualización de las

bases de datos. Una adecuada base de información, permite clasificar unidades pequeñas de superficie en niveles de fragilidad, agruparlas y configurar un mapa de ellas. Cada unidad, además de la información del nivel de fragilidad, mantiene toda la información de origen correspondiente a los valores de todas las variables, componentes y subcomponentes.

Un perfeccionamiento del método debiera considerar la incorporación de otras variables que en este estudio se excluyeron por estimarse constantes como por ejemplo, el tipo y estado del material generador, la cantidad e intensidad de las precipitaciones. También, modelos que incluyan funciones de interrelación suelo-máquina para mejorar la

discriminación del terreno en término de las actividades forestales que se desarrollen. Así, la perspectiva de análisis de los resultados considerará la acción de las máquinas, equipos y agentes atmosféricos sobre el suelo, la reacción o capacidad soportante y las interacciones que inciden en una mayor o menor alteración del sitio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por aportes del Proyecto FONDECYT 916/88. Los autores agradecen a Rodrigo Valencia por su ayuda en la digitalización y análisis de la información en el GIS.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BEEKMAN F (1987) Soil strength and forest operations. Doctoral thesis, Department of Forest Technique, Agricultural University, Wageningen, Holanda. 168 p.
- CRISCI J & M LOPEZ (1983) Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington 132 p.
- DI BIASI F & F LILLO (1972) Geología regional, geoquímica del drenaje, minería de la provincia de Valdivia. Instituto de Investigación de recursos naturales de Chile. Santiago 97 p.
- DONOSO C, R GREZ, V SANDOVAL, R JUACIDA, R GAYOSO & P NUÑEZ (1987) Métodos de manejo del tipo forestal Alerce. Informe de Convenio N° 115, Vol. 2. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile, Valdivia. 236 p.
- ELLIES A, J GAYOSO & M VELASQUEZ (1985) Efectos del pastoreo sobre la resistencia al corte en un suelo Dystrandept y Palehumult. AGRO SUR 13 (2): 84-90.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1989) Watershed management field manual. FAO Conservation Guide 13/5, Roma, 196 p.
- GAYOSO J (1982) Pérdida de la productividad del sitio por efecto del madereo. En: Actas Reunión de Trabajo sobre Evaluación de la Productividad de Sitios Forestales, 22-24 Abril 1982, Valdivia, pp. 284-299.
- GAYOSO J & A ELLIES (1984) Vorbelastung und Verformung als Folge unterschiedlicher Bewirtschaftung von einigen Böden Südkiles. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 25: 39-46.
- GAYOSO J & A IROUME (1984) Soil disturbance from logging in Southern Chile. In: Proceedings Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability. Environment and Policy Institute. East-West Center. University of Hawaii, Honolulu, 203-209.
- GAYOSO J & A IROUME (1989) Daño en suelos forestales asociado a faenas de madereo. Medio Ambiente 10 (1): 70-79.
- GAYOSO J & A IROUME (1990) Un método para evaluar la fragilidad de terrenos forestales. En: Actas Primer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 22-26 Octubre, Concepción.
- GAYOSO J & A IROUME (1991) Compaction and Soil Disturbances from Logging in Southern Chile. Annales des Sciences Forestières. 48: 63-71.
- GAYOSO J, A IROUME, R GAYOSO & R VALENCIA (1990) Clasificación ecológica de terrenos forestales. En: Libro de resúmenes II Congreso Internacional sobre Gestión en Recursos Naturales. 7-11 enero 1991, Valdivia.

- GAYOSO J, E MORALES, R GAYOSO & A ELLIES (1988) Reconocimiento, evaluación y reclasificación de los suelos del sur de Valdivia, Costa. Informe de Convenio s/n Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia 50 p. 3 anexos y 4 mapas. Circulación restringida.
- GESSEL S (1981) Impacts of modern forestry on continuing forest productivity. Proc. XVII IUFRO World Congress, Japan. pp. 3-19.
- GREZ R (1987) Influencia de la extracción de la cubierta arbórea sobre los potenciales de óxido-reducción en suelos derivados de rocas metamórficas en la Cordillera de la Costa, Provincia de Valdivia. En: Actas V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Valparaíso, 29-32.
- HARTGE K (1971) Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart, Ferdinand Enke. 118 p.
- HEAD K H (1981) Manual of Soil Laboratory Testing. Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. Pentech Press. London 741 p.
- HEIJ W & N LEEK (1981) Impacts of wood harvesting technology on soil and vegetation. Proc. XVII IUFRO World Congress, Japan. pp. 21-31.
- INIA (1985) Suelos volcánicos de Chile. Ministerio de Agricultura, Santiago, 723 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES & UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (1978) Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, 178 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES (1979) Fragilidad de los ecosistemas naturales de Chile. CORFO, Informe N° 40, Santiago, 43 p.
- IROUME A & J GAYOSO (1987) Metodología para jerarquizar cuencas hidrográficas. Informe de avance N° 2. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 Investigación y desarrollo de áreas silvestres en zonas áridas y semiáridas. Informe de convenio N° 127, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, 104 p.
- IROUME A, J GAYOSO & L INFANTE (1989) Erosión hídrica y alteración del sitio en cosecha a tala rasa. Rev. Ecol. Biol. Sol., 26 (2): 171-180.
- KESTEREN A (1986) A method for assessing the environmental sensitivity of land to forest harvesting in Central and Western Newfoundland. Information Report N-X-250, Newfoundland Forestry Centre, Canadian Forestry Service, 24 p.
- KUHNE A, M PERALTA, P EQUILLOR y E OYANEDEL (1985) Distribución, características, potencialidad y manejo de los suelos bajo Alerce, *Fitzroya cupressoides* en la X Región. Informe I, Corporación Nacional Forestal, Boletín Técnico N° 18, 89 p.
- ROTHWELL R (1978) Watershed management guidelines for logging and road construction in Alberta. Canadian Forestry Service. Inf. Reo. NOR-X-208, 43 p.
- SAMSET I (1990) Forest operations - Protection techniques. In: Proc. XIX IUFRO World Congress, Div. 3, Montreal, Canadá, pp. 20-31.
- SAN JUAN F (1982) Interpretación dinámica de bosques de canelo y coigüe de Chiloé en la Reserva Forestal de Valdivia. Tes. Ing. For. Universidad Austral de Chile, Valdivia 54 p.
- STANDISH J T, P R COMMANDEUR & R B SMITH (1988) Impacts of forest harvesting on physical properties of soils with reference to increased biomass recovery - a review. Inf. Rep. BC-X-301 Pacific Forestry Centre. 24 p.
- TERZAGHI K & R PECK (1971) Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. 3ª Ed. El Ateneo. Barcelona. 681 p.