

OPINIONES

Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico

Plantation forest and impacts on physical environment

C.D.O.: 116.28

JORGE GAYOSO AGUILAR, ANDRES IROUME ARRAU

Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile

SUMMARY

This work is based on a review and the authors' experience from several case studies. It summarizes the main environmental impacts of radiata pine and eucalyptus plantation projects on the physical environment, and proposes some guidelines for mitigation. Site preparation for plantation, road construction, and ground-based logging (including log skidding and machinery displacements) are the operations that cause the major impacts on the physical environment. The main impacts on soil are compaction, displacement, erosion by water, and nutrient depletion. Major impacts on hydrology are disturbances in the hydrologic balance as a consequence of changes in interception, evapotranspiration and surface runoff, and physico-chemical water quality. Mitigation guidelines according to the fragility of the regional terrain are oriented toward comprehensive planning and the use of more appropriate establishment and harvesting techniques.

RESUMEN

El presente trabajo, basado en revisión bibliográfica y aporte de la experiencia de los autores en estudio de casos, presenta un resumen de los principales impactos ambientales que generan los proyectos de plantaciones de pino radiata y eucalipto sobre el medio ambiente físico y propone algunas medidas para su mitigación. Las acciones que generan mayor impacto sobre el medio ambiente físico son la preparación de sitios para la plantación, la construcción de caminos y el maderero terrestre que incluye el arrastre de trozas y el desplazamiento de las máquinas. Los principales impactos sobre el suelo son la compactación, la remoción, la erosión y el agotamiento de nutrientes. Los impactos mayores sobre el componente ambiental hidrológico son la alteración del balance hídrico, como consecuencia de la modificación de los niveles de intercepción, evapotranspiración y escorrentía y la calidad fisico-química de las aguas. Las medidas de mitigación de los impactos se orientan hacia una mejor planificación y empleo de técnicas de establecimiento y cosecha que toman en cuenta los niveles de fragilidad de los terrenos.

INTRODUCCION

Las actividades de cosecha forestal y principalmente algunos proyectos sobre áreas cubiertas de bosque nativo han sido cuestionadas por sectores de opinión pública por las implicancias ambientales que ellos generarían (Hoffmann, 1994a). Los bosques de plantaciones no han estado ajenos a la crítica y son variados los comentarios sobre el impacto a los componentes ambientales suelo, agua, flora, fauna, socioeconómico y cultural (Hoffmann, 1994b; Fuentes, 1994). Estas observaciones se

centran en la tala de árboles, el arrastre de trozas y la quema de desechos.

Si bien la ley de Medio Ambiente no ha entrado aún en plena vigencia, algunas empresas han aceptado someterse en forma voluntaria al sistema de evaluación de impacto ambiental, comprendiendo que no sólo se trata de una exigencia interna más, sino que ello será fundamental como parte de las exigencias en el futuro del comercio exterior del país.

Los estudios de impacto ambiental tienen por objetivo la identificación, predicción e interpreta-

ción de los potenciales impactos relevantes que los proyectos forestales producirían sobre el medio ambiente físico, biológico y social en caso de ser ejecutados, así como la previsión, corrección y valoración de los mismos.

Este trabajo pretende identificar sólo los principales impactos sobre el medio ambiente físico que generarían proyectos de plantaciones en la X Región y las medidas de mitigación, con el fin de orientar desde un punto de vista técnico las futuras operaciones de establecimiento, manejo y cosecha, haciéndolas ambientalmente más apropiadas.

LAS ACCIONES COMUNES DEL MANEJO DE PLANTACIONES

La implementación de los proyectos de plantaciones involucra generalmente acciones como adquisición de predios, habilitación de terrenos agrícolas y cambio de uso del suelo, preparación del sitio, plantación, fertilización, control químico de malezas, aplicación de otros químicos, cortafuegos, construcción de caminos y canchas, prácticas silviculturales de manejo (podas y raleos), cosecha final (tala, desrame, trozado, madereo, operaciones en cancha), transporte mayor (carguío y transporte), inicio del nuevo ciclo con la preparación del sitio para rotación siguiente. Se considera acción también el crecimiento de los árboles, por cuanto en su desarrollo consumen agua y nutrientes, además de modificar los niveles de intercepción de las precipitaciones y sus consecuencias.

De estas acciones las que generan los mayores cambios en el medio ambiente físico son la preparación de sitios para plantar, la construcción de caminos y el madereo terrestre, dependiendo de las técnicas empleadas e inercia del componente ambiental (Gayoso *et al.*, 1994).

PRINCIPALES IMPACTOS SOBRE EL AMBIENTE FISICO

El ambiente físico comprende principalmente los componentes geomorfológico, clima, suelo, agua y aire. Algunos autores incluyen también el paisaje, aun cuando este último puede ser considerado parte del ambiente sociocultural (MOPU, 1982; Estevan, 1980).

CLIMA. Al comparar elementos del microclima en una situación de cambio de bosque nativo a una plantación se puede diferenciar una menor cantidad de la intercepción en las precipitaciones, mayor movimiento de la masa de aire, mayores cambios en la temperatura y humedad del suelo, lo que puede tener consecuencias desfavorables desde el punto de vista de la escorrentía, los procesos erosivos y el crecimiento biológico. Sin embargo, la situación puede ser inversa al analizar la situación de cambio desde pradera o suelos degradados a bosque de plantación.

A nivel de clima global, la cuantía de las superficies actuales plantadas en la región no es relevante para consignar por sí solo un cambio en la atmósfera, aunque debe reconocerse el efecto positivo de las futuras plantaciones. Mientras crezcan incorporarán a la biomasa de 2 a 6 toneladas de carbono por año y hectárea, cooperando al esfuerzo global para la atenuación del efecto invernadero (CONAF, 1991).

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial, las predicciones para Chile prevén un debilitamiento de la actividad frontal, lo que generaría una disminución de las precipitaciones y un aumento de la temperatura (Quintana, 1993). Con esto, los aportes de agua a las cuencas disminuirían y las pérdidas por evapotranspiración se incrementarían. Con este efecto combinado, se espera una reducción de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

SUELO. El reemplazo de ciertos cultivos y praderas por plantaciones genera un aumento del nivel de cobertura y consecuentemente puede llevar hacia una mayor estabilización del suelo. Este impacto positivo será mayor cuanto mayor sea el grado de degradación del suelo. Sin embargo, las actuales técnicas de preparación de sitios, la sustitución del bosque y matorral nativo remanente y la corta de vegetación en las áreas adyacentes a los cursos de agua y quebradas principales, traen como consecuencia un agravamiento de los procesos erosivos y deslizamientos de tierras.

También a consecuencia de las faenas de madereo terrestre, desplazamiento de máquinas y arrastre de trozas, se espera mayor compactación, amasado, ahuellamiento y remoción en el suelo.

Compactación de suelos. Como resultado del tránsito de la maquinaria forestal sobre el suelo se prevé un aumento de la densidad aparente de las capas superficiales, la exposición de suelo mineral

y una disminución de la productividad del sitio. Agrava la situación el hecho de tener rotaciones cortas, que al no permitir la recuperación natural del suelo y a pesar del empleo de técnicas culturales, desarrollarán un efecto acumulativo.

Gayoso, Iroumé y Ellies (1991) determinaron que los caminos, canchas y vías de saca no planificadas para madereo con *skidders* cubren hasta un 53.5% de la superficie total cosechada. En cuanto a la intensidad del daño, el aumento de la densidad aparente bajo huella alcanza hasta 1.85 veces la densidad de áreas no alteradas. Para la especie *Pinus radiata*, en suelos alterados por el madereo, se han medido pérdidas de crecimiento en la altura de los árboles entre 20 y 50 por ciento. En esta pérdida de crecimiento es posible que participen también la pérdida de nutrientes por efecto de la erosión y remoción de suelo. Para eucalipto, si bien no hay aún suficientes registros, se aprecia similar tendencia.

La compactación trae consigo un aumento de la cohesión y consecuente aumento de la resistencia al corte, lo cual dificulta el desarrollo radicular. Otra consecuencia es la disminución de la permeabilidad por disminución de los macroporos, lo que significa menor disponibilidad de agua en el suelo y aumento de la escorrentía superficial (Gayoso e Iroumé, 1993).

La intensidad de las alteraciones variará con el tipo, estructura y la humedad del suelo y la magnitud y número de repeticiones de carga (Gayoso e Iroumé, 1991). A mayor grado de saturación en el suelo, mayores las pérdidas de porosidad. Esto debiera llevar a seleccionar temporadas estivales de cosecha en aquellos suelos de mayor susceptibilidad a la compactación. Por otra parte y debido a que las primeras pasadas del equipo de madereo causan la mayor parte de la compactación, resultará conveniente planificar las vías de saca anticipadamente (Gayoso, Iroumé y Ellies, 1991).

Remoción de suelos. El desplazamiento y remoción de suelo se define como el movimiento físico del suelo por los equipos de madereo, el movimiento de las trozas y la construcción de caminos. Tal desplazamiento incluye la excavación y surcos generados por neumáticos, orugas, pisoteo de animales, arrastre de trozas y la exposición de suelo mineral. Los factores más determinantes del desplazamiento de suelo son la pendiente del terreno y la complejidad de las laderas, el tipo de madereo y patrón de desplazamiento de los equipos, el ancho y densidad de caminos.

De acuerdo con la maquinaria comúnmente empleada en las faenas de cosecha, principalmente caracterizada como tractores arrastradores sobre neumáticos de ancho estándar, el suelo recibirá presiones estáticas superiores a 130 kPa. Consecuentemente, por las condiciones del suelo, se puede esperar la formación de ahuellamientos profundos y remoción del suelo. Las huellas dejadas por este equipo alcanzan comúnmente de 3 a 4 m de ancho y profundidades variables hasta 30 cm y más. La profundidad de las huellas y dragado del suelo depende además de las propiedades intrínsecas del suelo, de la condición de humedad y de la carga y número de pasadas del equipo. Esto es especialmente grave en condiciones de temporada húmeda, donde se espera la mayor alteración del suelo. La extensión de las alteraciones depende de los patrones de desplazamiento de los equipos y planificación de las vías (Krag, Wong y Henderson, 1993). Longitudes de huellas de 600 a 900 m/ha abarcan desde 20 a 40% de la superficie total cosechada en cortas a tala rasa en bosques de pino radiata (Gayoso, Iroumé y Ellies, 1991). Así, los volúmenes removidos por el madereo pueden alcanzar fácilmente 200 a 400 m³/ha, dependiendo de la longitud de vías de saca por unidad de superficie y el tipo de equipo de madereo.

Además del impacto al suelo hay una notoria caída de la productividad y consecuente aumento de los costos de producción. La reserva de los terrenos más frágiles para cosechar en la temporada estival facilita el desplazamiento, disminuye los costos y afecta menos el suelo. La mayor mecanización, si bien ha incorporado equipos más pesados, tales como taladoras apiladoras, cosechadoras y tractores autocargadores, genera menor ahuellamiento y compactación al suelo debido al sistema de desplazamiento sobre orugas y sistemas de tracción 6x6 sobre neumáticos (Rubinstein, 1993).

Estimaciones a partir del perfil transversal del camino permiten establecer que la remoción de suelo varía con la pendiente del terreno, el ancho de la plataforma y la longitud de caminos por unidad de superficie. Para plataformas de 7 metros de ancho, el volumen removido alcanza de 2800 m³/km para 10% de pendiente lateral hasta 34500 m³/km, en terrenos de 70 por ciento. También en terrenos planos con suelos orgánicos, es necesario remover volúmenes importantes hasta encontrar una mejor calidad de subrasante. Para densidades de caminos de 30 a 50 m/ha en terre-

nos de pendientes de 40%, los volúmenes desplazados alcanzan valores de 400 a 700 m³/ha.

Erosión hídrica. Los efectos ecológicos de las plantaciones sobre aspectos físicos del suelo son consecuencia de los cambios en el movimiento del agua. Generalmente los niveles de intercepción que ofrece una plantación son mayores que los de una pradera, pero inferiores a un bosque o matorral nativo de alta cobertura. La insuficiente cobertura se manifiesta marcadamente en los primeros años, donde se favorece la escorrentía superficial aumentando el riesgo de erosión, problema que se agrava en situación de suelos compactos. Esto es de importancia teniendo en cuenta que la edad de rotación no sobrepasará los 10 a 12 años para la especie eucalipto o 16 a 18 años para pino radiata, en proyectos de abastecimiento de fibras pulpables.

Existe cierto consenso en que la mayoría de los eucaliptos no son árboles adecuados para el control de la erosión (FAO, 1987). Cuando jóvenes son muy susceptibles a la competencia de los pastos, y para obtener un buen crecimiento requieren el desmalezamiento durante el período de establecimiento, lo cual es indeseable sobre terrenos con pendientes o erosionables. Inclusive, los rodales maduros pueden ser poco efectivos para detener la escorrentía superficial. También se ha observado que en áreas con pendientes, plantadas con *Eucalyptus globulus*, el sotobosque desarrollado y el mantillo acumulado fueron insuficientes para prevenir la escorrentía superficial. *Eucalyptus globulus* es una especie de rápido crecimiento, con un vigoroso desarrollo de las ramas, que provee una sombra abundante pero poca hojarasca (FAO, 1987).

A pesar de que son escasos los antecedentes de investigación de erosión en terrenos forestales en Chile, se puede prever con certeza un aumento considerable de las pérdidas de suelo producto de las prácticas de cosecha y preparación de suelos. Alvarez (1988), evaluando la erosión producida por actividades forestales productivas en la VIII Región, estudia la variación de pérdidas de suelo según largo de la ladera y el grado de pendiente. Así determina pérdidas entre 29 kg/ha para laderas cortas de 100 m y 20% de pendiente y 564 kg/ha para laderas de 800 m y 60% de pendiente.

Iroumé, Gayoso e Infante (1989), en suelos arcillosos sometidos a precipitaciones de más de 2000 mm, trabajando sobre parcelas experimentales, bajo la condición sin cobertura después de tala rasa de bosques de pino radiata y quema de desechos, determinaron pérdidas anuales de 1563 kg/ha,

1878 kg/ha y 3926 kg/ha para pendientes de 30, 50 y 60% respectivamente.

Peña *et al.* (1993) estudiando cosechas de bosques de pino radiata en tres sitios de la cuenca del Bío-Bío midieron pérdidas de 1.89 a 3.12 t/ha/año en parcelas con pendientes de 8 a 18 por ciento, luego de cosecha con *skidder* y quema de residuos. Sin embargo, para situaciones de laderas de 25 a 30% y gran longitud (150 m o más), estiman probable que las pérdidas de suelo puedan alcanzar entre 55 y 120 ton/ha y más. Si bien este valor debe considerarse como único en cada rotación, al repartirlo en rotaciones de 24 años dan tasas anuales de pérdida de suelo por encima del valor de tolerancia de 2 ton/ha/año (valor que sería compensado por meteorización). En todo caso estas tasas de pérdida son notablemente inferiores a las que se han medido en la práctica tradicional agrícola.

Considerando cortas de plantaciones a tala rasa, tiene mucha importancia la forma en que se manejan los residuos. Oyarzún (1993) señala que puede esperarse de 2 a 4 veces más pérdida de suelo en tala rasa con quema de residuos en comparación a tala rasa con arrumado de desechos en fajas. Por esta razón, y dado que la quema ha sido una práctica habitual en la habilitación de terrenos agrícolas, si se persiste en esta técnica, se espera un grave impacto sobre la erosión. Iroumé, Gayoso e Infante (1989) en pendientes del 30% midieron pérdidas de suelo, después de tala rasa y quema de desechos, casi 12 veces mayores a las obtenidas en condiciones de cobertura arbustiva. Los valores medidos bajo bosque se encuentran dentro del rango de erosión geológica para cuencas con bosques no alterados, esto es, menores de 70 kg/ha/año.

Debe destacarse que los grandes volúmenes de pérdida registrados el primer año disminuyen drásticamente a partir del año siguiente, debido al rápido recubrimiento del suelo con pastos y plantas herbáceas (Iroumé, Gayoso e Infante, 1989; Oyarzún, 1993).

Las causas principales de la erosión por las operaciones de cosecha se estima serán el madereo en terrenos de fuertes pendientes, el madereo en el sentido de la máxima pendiente, el madereo no planificado que altera una gran superficie del suelo, el madereo en temporada húmeda y el empleo de maquinaria pesada que genere remoción del suelo. Así, el madereo terrestre debiera quedar restringido a las áreas con pendientes menores de 25 a 30 por ciento. El madereo con torre en terrenos con pendientes fuertes será una buena solu-

ción en la medida que las trozas se transporten suspendidas.

Entre las intervenciones programadas por los planes de manejo, sin duda que la construcción de caminos de madereo y acceso puede acelerar la erosión superficial y el movimiento de masas. Investigaciones realizadas en terrenos montañosos de Norteamérica han demostrado la relación entre la construcción de caminos y la producción de sedimentos (King y Tennyson, 1984; Swift, 1984). Los derrames del excedente de tierras, consecuencia de la técnica constructiva de caminos "bote al lado" y el no empleo de técnicas de estabilización de taludes, constituyen la principal fuente de producción de sedimentos (Gayoso, 1994).

La pérdida de suelos a partir de los caminos forestales, según el tipo de suelo, la pendiente del camino y la longitud del tramo, puede alcanzar valores medios anuales del orden de 1.6 a 11 kg/m² de superficie de camino, o bien extrapolando a un área forestal con una densidad de caminos de 16 a 30 m/ha, de 370 a 1600 kg/ha/año (Fahey y Coker, 1989). En el año *peak* de construcción de caminos esta tasa puede alcanzar valores mayores a dos veces a los aquí señalados. Las pérdidas serán mayores en aquellos caminos que alteren el flujo normal de cauces naturales y que se construyan con fuertes pendientes longitudinales, con sistemas de drenaje inadecuados y con excesiva remoción y exposición de suelos en los taludes de corte y terraplén. Por lo tanto, la estabilización de calzadas, la construcción de cunetas, alcantarillas, la disminución del movimiento de tierras y el empleo de la maquinaria adecuada pueden ayudar a disminuir la pérdida de suelo y el deslizamiento de tierras.

Ciclo de elementos nutritivos. La crítica más común sobre los bosques de plantación y especialmente los eucaliptos está relacionada con el agotamiento de los nutrientes en el lugar donde crecen, especialmente cuando se han desarrollado y cosechado durante varias rotaciones (FAO, 1987). De aquí la importancia en cuanto al período de rotación, ya que mientras más corto más severo será el agotamiento de nutrientes. También cobra importancia la técnica de cosecha en cuanto a si se dejan o no en el sitio la copa y la corteza, que se supone concentran un 70% de los elementos nutritivos almacenados en la biomasa del árbol (Triviño, 1993). Se ha sugerido también a los eucaliptos como propiciadores de la pérdida de nutrientes, al estimular el aumento de la escorrentía y la pérdida de suelos por la erosión hídrica y eólica.

No obstante lo anterior, la acción de los eucaliptos mejora las condiciones del suelo cuando se plantan sobre sitios deforestados o degradados, al remover la estructura de la superficie del suelo, romper capas del subsuelo relativamente impermeables y extraer nutrientes a mayores profundidades.

Hopmans, Flinn y Farrell (1987), en relación a la dinámica de nutrientes de cuencas forestadas con eucaliptos en Australia, indican que la química del agua fue influida por las fuertes fluctuaciones estacionales del flujo del torrente. Señalan también que los roces, quemas y construcción de caminos tuvieron pequeño efecto en la calidad del agua donde se mantuvieron franjas de filtraje de 30 metros de ancho a cada lado del cauce. Sólo se observaron cambios menores en la química del agua; sin embargo la exportación de nutrientes y sólidos en suspensión fue significativamente más alta debido al aumento de la descarga siguiente a la cosecha. La exportación de la mayor parte de los nutrientes volvió a niveles de pretratamiento dentro de 18 meses después de la corta. Las pérdidas de nutrientes en el agua fueron pequeñas cuando se compararon con pérdidas debidas a quema de la vegetación rozada.

Igual fuente cita registros de pérdidas muy fuertes de K, Ca y Mg en áreas quemadas después de cosechar bosques de eucaliptos. La quema, si bien puede ayudar a neutralizar la competencia durante el establecimiento, difícilmente puede justificar la significativa salida de elementos nutritivos. La mayor parte de ellos termina así en la atmósfera disminuyendo la fertilidad.

Como eucalipto y pino radiata son de rápido crecimiento y de rotaciones cortas, es claro que el reemplazo de los nutrientes perdidos y la demanda de estas especies no puede ser alcanzado solamente por el aporte de nutrientes desde la lluvia. Los químicos presentes en la lluvia varían fuertemente entre el período de invierno y el de verano y las concentraciones disminuyen con el aumento de las precipitaciones. Así, el aporte alcanzaría a Ca 2.38 kg/ha, K 1.42 y Mg 0.99. Se concluye que la entrada de Ca desde las precipitaciones es probablemente demasiado baja para asegurar un adecuado suministro de Ca para sucesivas rotaciones. Existe otra forma de aporte a través de la meteorización geológica, estimándose que K, Ca y Mg alcanzarían de 28-59, 2-7 y 10-23 kg/ha/año respectivamente.

De lo anterior se deduce que una de las situa-

ciones más críticas podría ser la del Ca. Asumiendo que las entradas de Ca por lluvia son aproximadamente equivalentes a las salidas por torrentes, entonces el reemplazo de Ca perdido tomaría aproximadamente 60 años a la tasa de meteorización. Las reservas de Ca en el suelo generalmente son suficientes para la primera rotación. Sin embargo, debido a la baja tasa de entrada por meteorización y las pérdidas por quemaduras y cosechas sucesivas en rotaciones cortas, comúnmente ocurrirá un agotamiento gradual. A pesar de la gravedad del efecto, es un estado reversible. Mantener la productividad requiere entonces de entradas artificiales de nutrientes. Como conclusión se puede estimar que la corta de las plantaciones generará un impacto negativo severo, a pesar de las medidas de fertilización y manejo que se consideren.

HIDROLOGIA

Niveles de intercepción. Para efectos de análisis se considerará negativa una menor intercepción porque ésta favorece procesos erosivos. En términos generales, los eucaliptos parecen interceptar entre un 11% y un 20% de la precipitación. Este valor es menor que en bosque nativo y plantaciones de pinos, pero superior a la vegetación baja. Los resultados de la comparación de los eucaliptos con otras especies de frondosas son contradictorios. En comparación con otras especies, eucalipto presenta menos intercepción: eucalipto 11.65%, *Acacia catechu* 28.5%, *Pinus radiata* 18.7% (FAO, 1987). Ros (1992) presenta los siguientes valores: *Pinus radiata* 25%, eucalipto 17%, señalando que el nivel de intercepción varía considerablemente con la cantidad de las precipitaciones. Menzel (1993) determinó que un 35% de la precipitación media anual resulta interceptada en un bosque siempreverde. Oyarzún, Huber y Vásquez (1985) encontraron una relación entre densidad y cobertura del dosel y los montos de intercepción, variando para bosques de pino radiata de distinta edad y esquemas de manejo entre 14 y 29 por ciento.

En un intento por explicar la menor intercepción de la especie eucalipto, interesante resulta observar la posición de las hojas en la especie eucalipto y el color de las hojas. La primera podría explicar en parte la menor intercepción y un aumento de la radiación, lo que causaría una variación en la humedad del suelo. La segunda cau-

saría también una modificación de los índices de refracción, que modificarían la temperatura sobre el suelo.

El desarrollo de plantaciones puede ejercer un efecto significativo sobre la cantidad de agua que llega al suelo y variará según la especie, la densidad de plantación, la edad de la misma y las precipitaciones. Esto tendrá sin duda un efecto importante sobre los caudales específicos de las cuencas. Sin embargo, debe recordarse que en la perspectiva espacial de la amplitud de las cuencas, el tamaño de las plantaciones tiene un efecto menor sobre las condiciones medias de las cuencas afectadas.

Consumo de agua por evapotranspiración. Los efectos de las plantaciones de eucaliptos sobre las reservas de humedad del suelo comienzan a aparecer a la edad de 4 a 6 años, después de la cual el déficit de agua durante el año es similar al observado para un bosque maduro (FAO, 1987). Las tasas de transpiración difieren entre las especies de eucaliptos, fluctuando aproximadamente entre 20 y 40 litros/árbol/día. La tasa de evaporación del bosque de eucalipto en condiciones de campo es más difícil de controlar, aunque parece que varía desde 1.5 mm/día en el invierno, hasta 6.0 mm/día en el verano.

De acuerdo con FAO (1987), "la evapotranspiración promedio de una cuenca, con una buena existencia de bosques de eucalipto, es probablemente cercana a 1000 mm/año, para un régimen de lluvias superior a los 1.200 mm/año. Para regiones más húmedas, la evapotranspiración aumenta y alcanza eventualmente un valor de 1.500 mm/año, para bosques tropicales de eucalipto en las latitudes más bajas. Estudios comparativos muestran que el promedio anual de la evapotranspiración en plantaciones de pino tiene el mismo orden de magnitud que el observado para los bosques de eucalipto". Ros (1992) citando a Huber señala que el pino radiata en verano consumiría más de 10 mm/día.

Como conclusión puede señalarse que la evapotranspiración media actual en las cuencas de la X Región está por debajo de los consumos esperados para las especies eucalipto y pino radiata, y existe suficiente disponibilidad de agua en las cuencas. Se espera, por lo tanto, una disminución de la disponibilidad de agua en el suelo y de los caudales de escorrentía, los que pueden llegar a ser críticos sólo en los meses donde se presenta déficit hídrico.

Escorrentía superficial. Resulta difícil separar los efectos de las plantaciones sobre los factores que determinan el balance hídrico. Es obvio que una disminución de la intercepción tendrá como consecuencia un aumento de la escorrentía superficial, mientras que un aumento en la evapotranspiración tendrá un efecto contrario sobre la escorrentía.

El volumen de escorrentía depende de la presencia de hojarasca y vegetación de sotobosque, lo cual, evidentemente, varía en gran medida de acuerdo con el clima. La poca evidencia disponible sugiere que la escorrentía de las plantaciones es mayor que la procedente de los pastizales o del rastrojo bajo. El sotobosque de las plantaciones de eucalipto es disperso en los climas secos, debido a la competencia radicular, y quizás a efectos alelopáticos. Los incendios, a los cuales son en especial propensos los bosques de pino y eucaliptos, agravan la situación anterior al destruir tanto el mantillo como el sotobosque. Hopmans, Flinn y Farrell (1987) muestran cómo la escorrentía aumentó en un 85% el año siguiente a la corta, y se mantuvo en un 19% durante los dos años siguientes.

Considerando los niveles de precipitación de la X Región, el cambio de vegetación nativa a bosques de plantación significa una mayor disponibilidad de agua del orden de 3 a 4 millones de litros por hectárea por menor intercepción. Lamentablemente este superávit de agua no es posible retenerlo para enfrentar el mayor consumo de agua de las especies de plantación, las que demandarán de 400 a 500 mm adicionales. En el caso de cambio de uso agrícola ganadero a plantaciones, generará una fuerte disminución en la disponibilidad de agua por los mayores niveles de intercepción y por el mayor consumo de las especies de plantación en relación a la pradera y cultivos, alcanzando requerimientos de 1.000 mm anuales. Esta situación puede ser crítica en los meses de déficit hídrico.

Esto, sin duda, según la importancia relativa de las plantaciones en la cuenca y en cuencas donde los derechos de agua han asignado el total de los caudales disponibles, podrá generar tensiones haciendo necesaria la administración del recurso agua por la propia comunidad.

Calidad del agua. Dado que el creciente aumento del uso de pesticidas en actividades agrícolas y forestales está directamente relacionado con la calidad del agua, se han establecido dosis máximas para 13 pesticidas y otros 5 productos ya han

sido prohibidos. Teniendo en cuenta que las aguas de algunas cuencas están destinadas a la producción de agua potable, riego y recreación, deberá observarse que cumplan los requisitos especificados en las normas chilenas NCh409/1.Of84¹ y NCh1333.0f78².

El porcentaje de participación de las plantaciones sobre la superficie total de las cuencas hace suponer que la calidad de las aguas no debiera verse afectada en su globalidad. Sin embargo, será necesario estudiar el efecto acumulativo que generará la aplicación de fertilizantes y herbicidas y observar el efecto de las cosechas en la producción de sedimentos. Una parte importante de los fertilizantes, herbicidas o insecticidas son lixiviados del perfil o barridos por el viento pudiendo afectar la calidad del agua y los microorganismos del suelo.

La destrucción de los bosques, el aumento de la actividad económica y el cambio de uso de la tierra se relacionan con el riesgo potencial de eutrofización de los lagos (Soto, 1993). Además, el reemplazo de bosque nativo por agricultura o monocultivos de especies exóticas, especialmente coníferas, podría ser el principal problema de estos cuerpos de agua. Sin embargo, en general los lagos chilenos están poco afectados a pesar de la acción antrópica, con bajo contenido de nutrientes, baja densidad de algas y bajo valor de clorofila (Campos, 1984; Soto, 1993). Esto se debería a la alta precipitación y a una muy fuerte habilidad de retención de fósforo de los suelos volcánicos. Las lagunas, formadas principalmente por precipitaciones y escorrentía, reciben directamente de su entorno aportes por lavado de fertilizantes y otros químicos ayudados por la abundante precipitación del área. Vegetación de protección en torno a estas unidades puede ser de gran ayuda para prevenir un aumento del fósforo y nitrógeno. La capacidad de amortiguación de estas unidades sería menor debido a una menor profundidad y volumen de las aguas.

Además del efecto por el uso de compuestos químicos, se generan efectos fisicoquímicos como consecuencia de la construcción de caminos, cortafuegos, canchas y vías de saca, de la prepara-

¹ NCh409/1.Of84 Agua Potable. Parte 1: requisitos.

² NCh1333.0f78 Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

ción de sitios y de las cosechas. En general, la producción de sedimentos puede alterar la calidad físico-química del agua, aumentando la turbidez y disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto, lo cual puede tener efectos perjudiciales en las poblaciones de fauna y flora acuáticas y la disminución de la calidad de su hábitat.

CONTAMINACION DEL AIRE

Durante el período estival dos situaciones comprometen levemente la calidad del aire. Una, el período de quemas controladas que dependiendo de la magnitud de los humos puede generar algunas molestias a la población. La segunda, se relaciona con el movimiento de vehículos de transporte de la madera, que por la naturaleza y calidad de los caminos genera nubes de polvo a lo largo de ellos y que al cruzar poblados provoca además situaciones de incomodidad e inseguridad (Gayoso, 1993; Gayoso *et al.*, 1994).

MITIGACION DE IMPACTOS AL AMBIENTE FISICO

PLANIFICACION INTEGRAL DE LA COSECHA. Las posibilidades que ofrece la planificación de operaciones con respecto a ciertas restricciones que determinan los suelos, consideran la intensidad, estándar y localización de los caminos forestales; el tamaño y forma de la unidad de cosecha; la oportunidad en el año y período de corta y de madereo; la selección del sistema, equipo y procedimiento de madereo y transporte, y otras medidas que se detallan a continuación.

Planificación de vías de saca. En cuanto al suelo, resultan efectivas medidas tales como la planificación de las vías de saca, lo que conduce a una menor cantidad de superficie alterada por el tránsito de las máquinas. Si se asocia a equipos de baja presión básica al suelo se disminuirá también la intensidad de la compactación. Es adecuado además diseñar los caminos de madereo evitando la máxima pendiente, sin movimiento de tierras. Una vez terminada la intervención, éstos se cortarán transversalmente de tal forma de impedir la socavación por agua. También se tratará de favorecer la reimplantación de la vegetación en las áreas compactadas.

Construcción de caminos con especificaciones ajustadas a áreas frágiles. El diseño y construc-

ción de los caminos debe considerar medidas mitigadoras, las que comprenden evitar los trazados en áreas de fragilidad muy alta o con pendientes fuertes, disminuir tanto como sea posible el movimiento de tierras, disminuir el ancho de la plataforma, evitar la construcción de caminos en las franjas de filtraje, disminuir el volumen y velocidad del agua en las cunetas, disminuir los ángulos de los taludes de corte, colocar camellones de filtraje sobre los taludes de terraplén, estabilizar mecánica y biológicamente los taludes, recubrir cunetas cuando se superen las pendientes críticas de socavación, compactar y mantener las carpetas de rodado. Considerar en todos los caminos la adecuada canalización de las aguas y localizar las descargas de cunetas y alcantarillas que sea necesario construir, con el fin de dar una salida rápida al agua y evitar la acumulación de grandes volúmenes que tienen una mayor fuerza erosiva.

Técnicas de preparación de sitios, cosecha y nutrientes del suelo. Se deberán utilizar técnicas de cosecha que permitan dejar en el piso: la copa y la corteza que concentran gran parte de los nutrientes del árbol, evitándose la quema de los desechos. La técnica de roce manual y quema en la preparación del sitio debiera ser reemplazada por el uso de maquinaria. El control químico de malezas se evitará preferenciando el control mecánico e incluso biológico (a través de animales domésticos).

FRANJAS DE FILTRAJE O PROTECCION Y OTRAS MEDIDAS GENERALES

- Respetar las franjas de filtraje o protección a ambos lados de los cursos de agua permanente, con anchos variables entre 20 y 100 m según la fragilidad del terreno adyacente.
- Evitar el volteo de árboles hacia el interior de las franjas de filtraje a ambos lados de los cauces. Ajustar las operaciones de cosecha en las zonas de mayor fragilidad, de tal forma de no maderear sobre los cursos de agua y evitar cruzarlos.
- Arrumar los desechos de la cosecha siguiendo las curvas de nivel y evitar la quema de ellos, formando hileras cada dos metros.
- Restringir las operaciones de cosecha en los períodos húmedos para permitir el madereo sin un notorio ahuellamiento o compactación del suelo o en caso de ser necesario emplear equipos de alta flotación o baja presión al suelo.

- Mantener periódicamente los caminos permanentes y clausurar y reforestar aquellos que se abandonen.
- Controlar permanentemente las actividades de cosecha para asegurar el cumplimiento adecuado de las proposiciones.

Las anteriores recomendaciones son una orientación hacia el empleo de técnicas apropiadas. Diversos países han estado elaborando pautas o "códigos" para el desarrollo de las operaciones de cosecha forestal con la finalidad de promover prácticas de cosecha que mejoren estándares de utilización, reduzcan impactos ambientales y aseguren su manejo sustentable (FAO, 1994; Smith, 1994).

CONCLUSIONES

Los principales impactos negativos de las plantaciones sobre el ambiente físico son generados por las acciones de preparación de sitios para la plantación, la construcción de caminos, el madereo terrestre y menos por el propio crecimiento de los árboles. Los subcomponentes suelo y agua son los más afectados. Sobre el suelo se identifica un aumento de la compactación, remoción y erosión, y un agotamiento de nutrientes. Sobre el agua, se denota la alteración del balance hídrico como consecuencia de la modificación de los niveles de intercepción, evapotranspiración y escorrentía y de la calidad físico-química de las aguas. Estos impactos serán más marcados en la situación de sustitución de bosques y matorrales nativos, sistemas que hoy se consideran estables.

Para ser justos debe reconocerse también el impacto positivo de las plantaciones en la situación de establecerse sobre suelos degradados y áreas deforestadas en las márgenes de cursos y cuerpos de agua. Allí se puede esperar una estabilización de los suelos, menores tasas de erosión, menor producción de sedimentos y una regulación de la calidad y cantidad del agua.

La magnitud de los impactos en el ambiente físico generados por las plantaciones depende principalmente de la fragilidad de los terrenos y las tecnologías que se empleen en las operaciones de establecimiento, manejo y cosecha forestal. Frente a esta situación, será imprescindible en el futuro contar con una clasificación de los terrenos en categorías de fragilidad potencial a la degradación del medio físico, previa a la implementación de los proyectos de plantaciones, con la finalidad de

poder ajustar las acciones de estos proyectos a los respectivos niveles de fragilidad de los terrenos y reducir los impactos ambientales.

Concordante con el origen de los impactos, las medidas mitigadoras se orientan a la aplicación de tecnologías ambientalmente más aceptables. Destacan la planificación integral de la cosecha, la planificación de las vías de saca, el empleo de maquinaria de baja presión concordante con la baja capacidad de soporte de los suelos, técnicas y estándares de construcción de caminos, técnicas de preparación de sitios y manejo de desechos ajustadas a la fragilidad de los terrenos. Una posible forma de hacer aplicables estas recomendaciones sería la de constituir un "Código de prácticas de cosecha forestal" que pudiese quedar ligado a las leyes de fomento forestal o al menos puedan constituirse en normas de adhesión voluntaria.

Aun cuando los impactos al medio ambiente físico de la región no son responsabilidad principal del sector productivo forestal, deberán hacerse los esfuerzos para modificar algunas prácticas del manejo de plantaciones para hacer de ellas una actividad sustentable. Este esfuerzo para que tenga los resultados esperados deberá además emprenderse en forma integrada con las demás actividades que la sociedad desarrolla en la zona.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, F. 1988. *Evaluación de la erosión producida por actividades forestales productivas*. Informe Técnico CONAF Programa Manejo de Cuencas VIII Región. Concepción, 39 pp.
- CAMPOS, H. 1984. Oesteichtyes. En: HURLBERT S. (ed). *Biota acuática de Sudamérica Austral*. San Diego State University Foundation. San Diego: pp. 330-334.
- CONAF. 1991. "El efecto invernalero y los bosques", *Chile Forestal*. 189: 26-27.
- ESTEVAN, M. 1980. *Las evaluaciones de impacto ambiental*. Cuadernos del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales (CIFCA). Madrid, 100 pp.
- FAHEY, B., R. COKER. 1989. "Forest road erosion in the granite terrain of Southwest Nelson, New Zealand", *Journal of Hydrology (NZ)* 28 (2): 123-141.
- FAO. 1987. *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Colección Estudio Fao Montes N° 59. Roma 89 pp.
- FAO. 1994. *FAO Model Code of Forest Harvesting Practice*. Working Paper FO: MISC/94/6. Roma, 105 pp.
- FUENTES, E. 1994. *¿Qué futuro tienen nuestros bosques? Hacia la gestión sustentable del paisaje del centro y sur de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 290 pp.
- GAYOSO, J. 1993. *Investigación sobre efectos en el suelo y el agua de las plantaciones de E. globulus de Volterra S.A. Evaluación de impactos ambientales*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 52 pp.
- GAYOSO, J. 1994. Situación de impacto ambiental de la red de caminos del fundo Nonguén. Informe preliminar, Uni-

- versidad Austral de Chile, Valdivia (circulación restringida).
- GAYOSO, J., A. IROUME. 1991. "Compaction and soil disturbances from logging in Southern Chile", *Ann. Sci. For.* 48: 63-71.
- GAYOSO, J. A. IROUME. 1993. "Impacto al suelo por efecto de la cosecha forestal", *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*, Bol. N° 10: 98-106.
- GAYOSO, J., A. IROUME, A. ELLIES. 1991. "Degradación de suelos forestales asociada a operaciones de cosecha". En: *Actas III Taller de producción Forestal Fundación Chile*. Concepción, 27-29 noviembre, s.p.
- GAYOSO, J., M. MENESES, A. UNDA, Y. MARTINEZ. 1994. Evaluación del impacto ambiental del proyecto de plantaciones de *E. globulus*. Forestal Los Lagos S.A. Informe de Convenio. Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Austral de Chile, Valdivia: 133 pp. (circulación restringida).
- HOFFMANN, A. 1994a. "Primavera dorada: una ironía forestal", *Rev. Vivienda y Decoración*. El Mercurio, 30 de abril, pp.: 50-51.
- HOFFMANN, A. 1994b. "Destrucción y fragmentación de hábitat naturales", *Rev. Vivienda y Decoración*. El Mercurio, 10 de diciembre, pp.: 54-55.
- HOPMANS, P., D. FLINN, P. FARRELL. 1987. "Nutrient Dynamics of Forested Catchments in Southeastern Australia and Changes in Water Quality and Nutrient Exports Following Clearing", *Forest Ecology and Management* 20: 209-231.
- IROUME, A., J. GAYOSO, L. INFANTE. 1989. "Erosión hídrica y alteración del sitio en cosecha a tala rasa", *Ecol. Biol. Sol.* 26 (2): 171-180.
- KING, J., L. TENNYSON. 1984. "Alteration of streamflow characteristics following road construction in North Central Idaho; *Wat. Resour. Res.* 20: 1159-1163.
- KRAG, R., T. WONG, B. HENDERSON. 1993. *Area occupied by roads, landings, and backspur trails for cable-yarding systems in coastal British Columbia: results of field surveys*. FERIC Special Report N° SR-83. Vancouver, 19 pp.
- MENZEL, T. 1993. *Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde en la Provincia de Valdivia*. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 87 pp.
- MOPU 1982. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Madrid, 572 pp.
- OYARZUN, C. 1993. "Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestales de la Cuenca del Río Bío-Bío", *Bosque* 14(1): 45-54.
- OYARZUN, C., A. HUBER, S. VASQUEZ. 1985. "Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. (D. Don). I: Redistribución de las precipitaciones *Bosque* 6(1): 3-14.
- PEÑA, L., P. CARRASCO, M. FIGUEROA, C. OYARZUN, B. LO CASCIO. 1993. "Pérdidas por erosión hídrica en suelos agrícolas y forestales de la cuenca del río Biobío". En: *Elementos cognoscitivos sobre el recurso suelo y consideraciones generales sobre el ordenamiento agroforestal*. Proyecto EULA-Chile, Serie: Propuestas de ordenamiento Vol. 4, pp: 47-59.
- QUINTANA, J. 1993. "Cambio climático global y su incidencia en Chile". En: *Actas III Jornadas de Trabajo Manejo Integral de Cuencas*. CONAPHI. Valdivia, pp: 58-66.
- ROS, R. 1992. "Plantaciones: sus efectos sobre el ambiente". En: *Actas XIV Jornadas Forestales*. Temuco, pp: 21-37.
- RUBINSTEIN, A. 1993. "Cosecha mecanizada con Harvester y Forwarder", *Rev. CORMA* 235: 36-40.
- SMITH, R. 1994. *British Columbia Forest Practice Code. Standards with revised rules and field guide references*. Ministry of Forests. Vernon, B.C. 215 pp.
- SOTO, D. 1993. Estudio del potencial impacto ambiental de las actividades productivas y de servicio sobre el lago Llanquihue. Facultad de Pesquerías y Oceanografía, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, 54 pp.
- SWIFT, L. 1984. "Soil losses from roadbeds and cut and fill slopes in the Southern Appalachian Mountains", *Southern J. of Applied Forestry* 8: 209-215.
- TRIVIÑO, T. 1993. "Las plantaciones: medio eficaz para la recuperación de ecosistemas degradados", *Revista CORMA* 234: 44-47.