
CONTROL Y FORESTACION DE DUNAS COSTERAS EN CHILE¹

Santiago Barros² y Juan Orlando Gutiérrez³

RESUMEN

En Chile existen unas 130 mil hectáreas de dunas, de las cuales unas 75 mil hectáreas corresponden a dunas costeras y unas 56 mil hectáreas a dunas interiores. Las cifras de superficie provienen de un inventario detallado realizado en el año 1966, poco después de que se iniciaran los trabajos de control por parte del Estado. Evaluaciones parciales posteriores muestran que las cifras totales no han variado significativamente, pero que ha habido una reducción en la superficie de dunas activas tanto por el crecimiento de la vegetación natural y el establecimiento de plantaciones forestales, especialmente en las dunas interiores, como por los trabajos de control realizados en las dunas costeras, que han permitido estabilizar casi el 40% de la superficie ocupada por éstas. Los trabajos de control han permitido recuperar áreas invadidas por arenas y detener la expansión de los campos de dunas, por lo que de no haber sido efectuados, la actual superficie de dunas activas en el país sería considerablemente mayor.

El origen de los campos de dunas es variado, los interiores o continentales lo tienen en una fuerte actividad volcánica en el Cuaternario, a fines del Pleistoceno; los costeros en tanto también provienen del Cuaternario, pero corresponden a formaciones de diferente data, con dunas de 2 a 4 mil años y otras más recientes sobre las anteriores, que con seguridad se originaron en procesos erosivos provocados por la deforestación y uso inadecuado de los suelos durante los últimos 3 ó 4 siglos. Estos procesos han generado un permanente arrastre de material hacia los ríos y por estos hacia el océano que después los devuelve al continente sobre las planicies costeras.

Las dunas interiores están concentradas en la zona centro sur del país y en general no representan mayores problemas por encontrarse inactivas; buena parte de ellas han sido cubiertas por plantaciones forestales y las áreas aún descubiertas no presentan mayor actividad o esta es muy puntual o local. Las dunas litorales o costeras están presentes a lo largo de la costa de todo el país, desde las zonas áridas y semiáridas del norte hasta las zonas lluviosas del sur, en su mayoría están activas debido a las condiciones climáticas y al abastecimiento permanente de arenas desde la costa y por lo tanto producen problemas amenazando con invadir centros poblados, obras de infraestructura o suelos productivos.

A fines del siglo XIX e inicios del siglo XX se realizaron los primeros trabajos de control de dunas en la zona centro sur del país; posteriormente a mediados del siglo XX el Estado

1 Trabajo resumido como estudio de caso en FAO, 2011. Gestion des Plantations sur Dunes. Document de Travail sur les Forêts et la Foresterie en Zones Arides, N° 3. Chapitre 4. Exemples de Gestion des Plantations sur Dunes.

2 Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Chile. Santiago.barros@infor.cl

3 Ingeniero Forestal. Consultor. joguti@entelchile.net

chileno desarrolló en forma directa importantes trabajos de estabilización y forestación de dunas, combinando métodos mecánicos y biológicos, los cuales fueron posteriormente continuados por el sector privado apoyado por incentivos estatales. Se estima que en la actualidad se encuentran recuperadas casi la totalidad de las dunas interiores y unas 32 mil hectáreas de dunas costeras. Las plantaciones forestales que crecen sobre dunas controladas, principalmente de pino y eucalipto, generan rentabilidades cercanas al 10 %.

La política forestal chilena actual apunta con su legislación de fomento a la recuperación de suelos degradados en general y de las dunas en particular, otorgando beneficios de tipo tributario y subsidios a quienes ejecuten obras de recuperación de suelos y trabajos de forestación, con especial énfasis en pequeños propietarios.

Palabras clave: Forestación, control de dunas

SUMMARY

The extension of dunes in Chile is close to 130,000 ha, of which about 75,000 ha are coastal dunes and 56,000 ha are interior. These figures are the result of a detailed inventory conducted in 1966 and soon after the dunes control activities carried out by the Government had began. Later, partial evaluations showed that the total figures have not varied significantly, but there has been a reduction of the active dunes due to the growth of natural vegetation and the establishment of plantations, especially in the case of interior dunes, and the control activities on the coastal dunes have allowed stabilizing about 40% of the area. In case these control activities would not have been conducted, the current total dunes area in the country would be considerably larger.

The origin of the dunes is varied, the interior or continental dunes exists due to a strong volcanic activity during the Quaternary era finishing during the Pleistocene. The coastal dunes also come from the Quaternary era, but they correspond to formations of different dates, with dunes as old as 2,000 to 4,000 years and even younger dunes above them, generated by erosive activities caused by deforestation and other inadequate land use practices during the last 3 to 4 centuries. These processes have generated a permanent transportation of material towards the rivers then to the ocean that later returns to the land, especially to the coastal plains.

The interior dunes are concentrated in the central area of the country and, in general, they do not represent a big problem, since they are inactive, a good portion of them are covered by planted forest and those areas which remain still uncovered do not present any activity. The coastal dunes are present along the whole country from the arid and semi-arid areas of the north to the rainy areas of the south, the majority of these dunes are still active due to the climatic conditions and the permanent supply of sand from the coast and therefore they produce problems threatening to invade cities, infrastructure and agricultural productive soils.

At the end of the XIXth century and beginning of the XXth century the first dune control activities began in the central area of the country and later on, by the middle XXth century, the Chilean Government carried out important stabilization and afforestation work on dunes, combining mechanical and biological methods. These kinds of activities have been later carried out by the private sector supported by government incentives. Today, most interior dunes have been recovered as well as about 32,000 ha of coastal dunes. The forest plantations growing on controlled dunes, mainly of Pine and Eucalypt species, generate profitability close to 10 %.

The current Chilean forest policy through its legislation aims to recover degraded soils in general and dunes in particular, granting tax benefits and subsidies to those who carries out soil recovery and planting activities, with special focus on small land owners.

Key words: Afforestation, sand dunes control

INTRODUCCION

Ubicado entre los 18 y 55° de Latitud Sur, Chile ocupa una angosta faja de territorio de unos 4.200 kilómetros de longitud entre la Cordillera de Los Andes y el Océano Pacífico, con una superficie continental de 75,8 millones de hectáreas. Esta posición geográfica explica la presencia de una variedad de climas desde las zonas áridas subtropicales por el norte hasta las selvas lluviosas en las regiones del sur. La topografía general está marcada de oriente a poniente por la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia o Valle Central y la Cordillera de la Costa y por gran cantidad de cuencas hidrográficas que en igual dirección cruzan el territorio tributando al Océano Pacífico (Figura N°1).



(Fuente: Google Earth)

Figura N° 1
IMAGEN AEREA CHILE

La división administrativa del país corresponde a quince Regiones ordenadas de norte a sur, más la Región Metropolitana donde se ubica la capital, Santiago. La población es de 15 millones de habitantes según censo poblacional 2002 y se estima en 17 millones para año 2010, fuertemente concentrada en la zona central del país.

Las principales actividades económicas giran en torno a los recursos naturales; minería, bosques, pesca y agricultura, además de las relativas a la industria, el comercio y los servicios, con buen desarrollo.

El sector forestal cuenta con importantes recursos, representados por 13,7 millones de hectáreas de bosques naturales y 2,3 millones de hectáreas de plantaciones (INFOR, 2010). Los bosques nativos presentan una rica variedad de especies predominando las pertenecientes al género *Nothofagus*, y otras como *Fitzroya cupressoides* y *Araucaria araucana*. Los bosques plantados han sido establecidos con especies de rápido crecimiento, principalmente *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, pero hay también superficies significativas de especies de los géneros *Populus* y *Pseudotsuga*, en las zonas central y sur, y de los géneros *Eucalyptus*, *Prosopis*, *Acacia* y *Atriplex*, en zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país (INFOR, 2010).

Sobre la base de estos recursos y una corta anual de unos 36 millones de metros cúbicos de madera en trozas existe un fuerte desarrollo industrial con importantes volúmenes de producción y exportación de pulpa y papel, madera aserrada, tableros y otros productos. Las exportaciones forestales constituyen uno de los pilares de la economía del país, alcanzando en la actualidad niveles superiores a los 4,2 miles de millones de dólares anuales (INFOR, 2010), poco menos del 10% del total de las exportaciones totales del país. Es preciso mencionar también que actualmente más del 95 % de la producción forestal chilena proviene de bosques plantados.

En el desarrollo forestal que alcanza el país no se descuida los aspectos ambientales, toda la actividad forestal está normada por Ley; la flora y fauna amenazada se encuentran bajo protección, existiendo 14 millones de hectáreas de áreas protegidas en una red de parques nacionales; además el país es signatario de las principales convenciones internacionales, como las relacionadas con especies amenazadas, biodiversidad, cambio climático, desertificación, humedales y otras. Existe fomento estatal para la recuperación y forestación de suelos degradados, para el control y forestación de dunas y para la forestación con especies nativas, con énfasis en aquellas consideradas amenazadas, y recientemente para el manejo de bosques nativos. El Estado apoya la protección forestal, tanto en materia de incendios como de plagas y enfermedades forestales. Todo proyecto forestal o industrial de cierta envergadura requiere de estudio previo de impacto ambiental.

ORIGEN Y FORMACION DE LAS DUNAS

En términos generales existen dunas costeras o litorales e interiores o continentales. Las primeras se originan en arenas procedentes del borde oceánico y las segundas del margen de ríos y lagos, de antiguos lechos lacustres o marinos y de sedimentaciones de ocasionales actividades volcánicas. Las dunas pueden ser activas o vivas, cuando por no existir vegetación están cambiando constantemente de lugar bajo la acción de las corrientes eólicas, e inactivas o fijas cuando existe cobertura vegetal que impide su desplazamiento.

Dunas ampliamente distribuidas en todos los continentes son las asociadas a áreas

costeras, en tanto que los mayores complejos de dunas se encuentran en áreas interiores en zonas áridas y asociadas a antiguos lagos o lechos marinos⁴ u originadas en el normal proceso de formación de suelos y degradación a partículas más y más pequeñas que en áreas desprotegidas son erosionadas, removidas por el viento y acumuladas en otros lugares. .

El origen de las arenas que componen las dunas costeras es variado, provienen de la erosión provocada por el oleaje marino sobre la costa, de depósitos volcánicos interiores arrastrados al océano por los ríos y de la erosión general de los suelos tierra adentro provocada por la actividad humana, cuyo material transportan al océano quebradas y ríos. Estos sedimentos son arrastrados por las corrientes costeras y, en aquellos lugares en que la topografía del borde costero, la vegetación y la ocurrencia, dirección e intensidad de los vientos así lo permiten, son depositados y arrastrados al interior por la acción eólica.

La formación y avance de los campos de duna responde a la acción eólica que desplaza partículas en volúmenes y a distancias que dependen del abastecimiento de arenas desde el océano, de la velocidad del viento, la humedad de la superficie en que están depositadas, el tamaño de las partículas, la topografía local, la vegetación y los obstáculos que el viento y su carga puedan encontrar en su camino.

La altura de los montículos de arena en las dunas es de unos pocos metros hasta 150 y más en Chile (Gormaz, 1974), en tanto que en dunas de zonas desérticas de Chile el espesor de la cubierta de arena puede superar los 300 m, como ocurre en las cercanías de Copiapo (Paskoff y Manríquez, 2004).

Existen diferentes formas de dunas, definidas principalmente por la dirección del viento durante el período de transporte de arenas, la topografía del lugar y la vegetación que pueda existir. Las cinco formas principales son medialuna, linear, estrella, cúpula y parábola.

La forma más común es la de medialuna, conocida también como barján o duna transversal. Son dunas más anchas que largas y aisladas, se forman bajo vientos dominantes de una dirección, presentan una forma convexa y una pendiente suave a barlovento y cóncava con pendiente abrupta a sotavento, donde se encuentra el frente de deslizamiento y avance. En sectores de los campos de dunas de Arauco en Chile el avance medio anual se estimó en 20 m, alcanzando hasta 200 m en años especialmente secos (Gormaz, 1974).

En la medida que las dunas se forman se inicia también una sucesión vegetal natural sobre ellas, sin embargo condiciones adversas como el aire salino, escasa disponibilidad o ausencia de agua y nutrientes en el suelo se suman a la acción desecante y abrasiva del viento cargado de arena, por lo que sólo especies de carácter pionero son capaces de iniciar una lenta colonización de las arenas. Se trata de plantas que se adaptan a estas severas condiciones de sitio, típicamente tienen raíces profundas, capacidad de

4 <http://www.astromia.com/tierraluna/erosionviento.htm>

fijar nitrógeno y bajos niveles de transpiración. Las raíces profundas son capaces de aglutinar la arena y la parte aérea de las plantas, de crecer en la medida que la arena las cubre, formándose así la anteduna o duna litoral, tras la cual pueden empezar a prosperar otras especies, como algunas leguminosas u otras, y finalmente especies mayores como coníferas si las condiciones climáticas del lugar lo permiten.

Entre las más características especies pioneras en Europa y Norteamérica están los llamados pastos de arena o pastos de playa del género *Ammophila* (*A. arenaria* en Europa y *A. breviligulata* en Norteamérica).

A fines del siglo XIX y principios del siglo XX el naturalista alemán Federico Albert, contratado por el Gobierno de Chile, es quien primero se preocupa de la recuperación de áreas degradadas y del estudio e introducción de numerosas especies para la creación de plantaciones forestales. En el año 1900 señaló su preocupación por los diferentes campos de dunas a lo largo de la costa del país, estimando su superficie en 250 mil hectáreas y trabajando intensamente durante los años posteriores en la contención de los campos de dunas de Chanco, en la Región del Maule, que invadían suelos productivos y amenazaban con cubrir el pueblo del mismo nombre.

DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIE DE DUNAS EN CHILE

En 1966 el Instituto de Recursos Naturales (IREN) realiza un inventario de las dunas existentes entre La Serena, región de Coquimbo, y el canal de Chacao, Región de Los Lagos, sobre la base de fotografías aéreas del Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID, que arroja una superficie total de 75 mil hectáreas de dunas costeras y 57 mil hectáreas de dunas interiores o continentales. Estos resultados son obtenidos entendiendo por duna a todo depósito de arena de origen eólico, sin utilización agrícola, forestal o ganadera, y de superficie mayor a una hectárea, excluyendo las playas. El inventario considera duna litoral a aquella que está en contacto con una playa marítima y duna continental a aquella que no lo está (IREN, 1966).

El inventario identifica en material aerofotográfico a escala 1:20.000 una gran cantidad de dunas a lo largo del litoral entre La Serena (30° LS) y Puerto Montt (42° LS). Al sur y especialmente al norte de este rango geográfico existen importantes campos de dunas, no considerados en el estudio por su escasa o nula importancia en términos silvoagropecuarios. El estudio excluyó también toda área de arenas bajo uso agrícola, forestal o ganadero, lo que redujo bastante la superficie total. Se excluyó por ejemplo unas 58 mil hectáreas de campos de arenas interiores en la Región del Bio Bio, cubiertos con plantaciones de *Pinus radiata* (INFOR, 1966), e igualmente parte de las dunas litorales de Chanco en la Región del Maule, que habían sido estabilizadas con plantaciones forestales de diferentes especies, producto de los trabajos que había ejecutado Federico Albert desde principios del siglo y forestaciones posteriores.

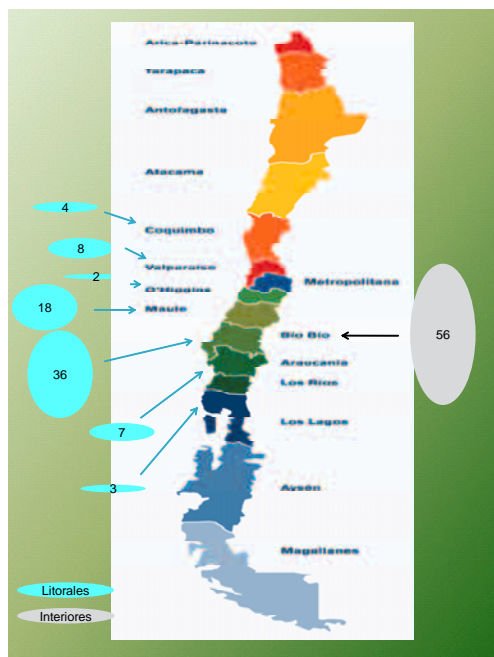


Figura N° 2
PRINCIPALES CAMPO DE DUNAS EN CHILE
SUPERFICIE POR REGIÓN (MILES HECTÁREAS)

La distribución de dunas por Región de acuerdo al inventario realizado por IREN (1966) es la que indica el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
SUPERFICIE DE DUNAS EN CHILE

REGION	SUPERFICIE DUNAS (ha)		
	Litorales	Interiores	Total
IV Coquimbo	4.249		4.249
V Valparaíso	7.737		7.737
XIII Metropolitana		120	120
VI O'Higgins	1.945		1.945
VII Maule	17.860	38	17.898
VIII Bio Bio	35.488	56.296	91.784
IX La Araucanía	4.134	124	4.258
XIV Los Ríos y X Los Lagos	3.015		3.015
Total	74.428	56.578	131.006

(Fuente: IREN, 1966)

La Región del Bio Bio concentra el 70 % de la superficie de dunas del país, la casi totalidad de las dunas continentales y el 48 % de la de dunas costeras. En lo referente a dunas costeras la sigue la Región del Maule con el 24%.

Las dunas continentales en Chile en términos generales no producen problemas debido a que se encuentran en gran parte estabilizadas debido a su colonización por vegetación natural espontánea, el establecimiento de extensas plantaciones forestales y la práctica de agricultura. Estas dunas se originaron en una intensa actividad volcánica, ocurrida hace unos 15 mil años y que afectó unas 400 mil hectáreas. Los sedimentos más jóvenes son de 500 a 1500 años (CONAMA y MINAGRI, 2004).

Las dunas costeras se encuentran a lo largo de todo el litoral chileno, aunque muestran una fuerte concentración en las Regiones del Maule y del Bio Bio. Las condiciones climáticas oscilan ampliamente, desde la carencia prácticamente de lluvias en el norte hasta 2.500 mm por año y más en la Región de Los Lagos. Existe un marcado período seco estival, de hasta 8 meses en la Región de Coquimbo y 3 meses en la Región del Bio Bio. Los vientos dominantes en primavera y verano son del SW y coinciden en general con las horas de calor.

En Chile el origen predominante de las dunas es antrópico, provienen de la erosión de los suelos producida por deforestación, incendios forestales y deficientes prácticas agrícolas y ganaderas, pero también han intervenido procesos naturales desarrollados hace 2 mil a 4 mil años (Fuenzalida, 1956 y Paskoff, 1970. Cit. por Castro, 1985).

Antecedentes históricos indican que en los siglos XVII y XVIII las dunas activas estaban menos extendidas y el avance de las dunas costeras actuales es aún intenso en muchos casos. Contreras (1958) (cit. por Vita, 1975) estima que a comienzos del siglo XX el área cubierta por dunas costeras era aproximadamente la mitad de la actual.

Paskoff y Manríquez (2004), a base de estudios en los principales campos de dunas del país, que incluyen algunos de la zona desértica como las extensas dunas remanentes de Copiapó, en la Región de Atacama, e Iquique, en la Región de Tarapacá, sostienen que las dunas son un fenómeno natural, cíclico y antiguo, y que muchas de las dunas actuales tienen su primer origen en el Pleistoceno. Señalan también que indudablemente la acción antrópica, que ha producido severas deforestaciones y daños a los suelos durante los últimos 4 ó 5 siglos, ha incrementado la carga aluvial de las grandes cuencas y cursos de agua, dando origen a nuevas dunas normalmente sobre dunas del Cuaternario. Sin embargo, hay excepciones como los grandes campos de dunas de Arauco en la Región del Bio Bio, donde las arenas provendrían de la erosión y abrasión de roca metamórfica, característica de la Cordillera de la Costa.

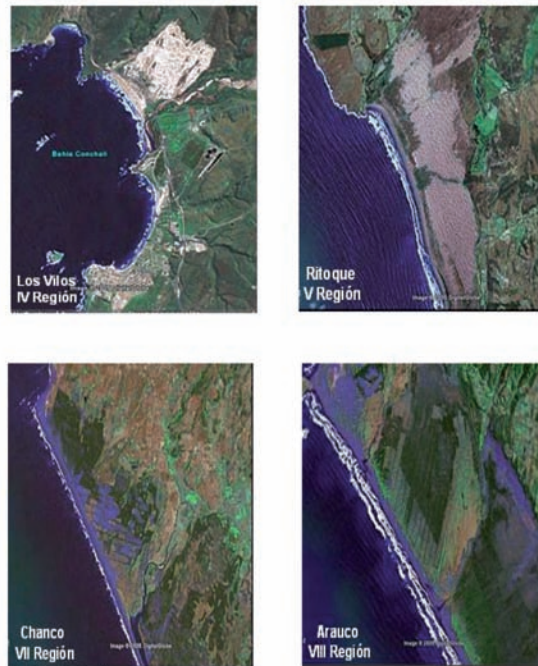
Los campos de dunas y en especial aquellos correspondientes a dunas litorales o costeras han sido normalmente considerados como agentes invasores, que deben ser controlados. Sin embargo, actualmente se considera que a menudo son ecosistemas importantes de proteger por ser el hábitat de numerosas especies de flora y fauna, por su valor como áreas de recreación y turismo e incluso en algunos casos por ser de importancia arqueológica. En consecuencia sólo deben ser intervenidas cuando

constituyen un problema al amenazar pueblos, comprometer obras de infraestructura o invadir suelos productivos.

Algunas áreas de dunas en Chile han sido consideradas importantes ecosistemas a proteger y han sido incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado, como es el caso de las presentes en las Reservas Nacionales El Yali (Región de Valparaíso), Laguna Torca y Federico Albert (Región del Maule) y en el Parque Nacional Chiloé (Región de Los Lagos).

Numerosos otros campos de dunas, bastante extensos en algunos casos, están asociados a balnearios costeros y presentan atractivos recreacionales, sin generar problemas mayores que ameriten intervenirlos.

Sin embargo, son numerosos también los sectores de dunas que representan un serio problema. Como ejemplo, las dunas de El Teniente y Los Vilos, en la Región de Coquimbo, que están permanentemente cubriendo la Carretera Panamericana, generando riesgos y costos; los extensos campos de dunas Chanco, Pahuil y otros de la Región del Maule, que suman más de 15.000 ha, y el gran complejo de dunas de Arauco con cerca de 30.000 ha, que han invadido suelos productivos para la agricultura, la ganadería o la actividad forestal y en algunos casos amenazan también pueblos e infrae



(Fuente: Google Earth)

Figura N° 3
VISTA AÉREA CAMPOS DE DUNAS LITORALES
REGIONES DE COQUIMBO (IV), VALPARAÍSO (V), MAULE (VII) Y BIO BIO (VIII)

CONTROL Y FORESTACION DE DUNAS COSTERAS EN CHILE

Aspectos Generales

Respondiendo al rápido avance de las dunas, a los evidentes daños a obras de infraestructura y a valiosos suelos productivos, el Gobierno de Chile inicia a mitad del siglo XX intensos programas de control y recuperación de las áreas afectadas.

La solución más integral es sin duda la reducción de la erosión en todos los niveles, pero esto es a largo plazo y de alto costo. Los esfuerzos actuales de la política forestal del Gobierno, en materia de forestación y reforestación, de manejo forestal y de mejores prácticas agrícolas y ganaderas se orientan en esa dirección como medidas de mitigación en el largo plazo, pero no resuelven la necesidad inmediata de controlar y recuperar para el uso productivo las importantes áreas de dunas costeras existentes.

El control de dunas básicamente apunta a la construcción de barreras naturales o artificiales opuestas al movimiento invasor de las arenas producido por los vientos

dominantes, que en el caso de la costa de Chile provienen del SO, esto es del océano al interior (Elizalde, 1970).

El primer paso en el tratamiento de una duna es detener o reducir significativamente el movimiento de arena, impedir el abastecimiento de ésta desde la costa y parar su avance hacia el interior del continente. Si se intenta la forestación de la duna sin cumplir esta primera etapa el resultado será un fracaso, como ocurrió en la región de Las Landas en Francia en el siglo XIX, donde se efectuó una masiva forestación con *Pinus pinaster* y en los inicios del proceso se perdió importantes plantaciones debido a que las plantas fueron finalmente cubiertas por las dunas (Vita, 1975) al no efectuarse los trabajos previos.

Cumplido este primer objetivo se puede continuar con los trabajos de estabilización y posteriormente con el uso productivo de las áreas invadidas por las dunas. Es posible emplear métodos mecánicos o biológicos; en el primer caso se puede construir diferentes tipos de barreras fijas utilizando para esto ramas u otros materiales. En el segundo el camino es la repoblación vegetal mediante plantas, semillas, estacas o esquejes para crear una cubierta protectora; en este caso los costos son más altos que con el sistema mecánico, pero el método es mucho más efectivo en el largo plazo.

La selección del sistema más adecuado depende de diversos factores, como el origen de los sedimentos costeros, la velocidad y dirección de los vientos dominantes, el tamaño de las partículas de arena, el tipo de duna y otros. El proceso será más sencillo o complicado según sea el abastecimiento de arenas, la capacidad del viento para desplazarla y las condiciones climáticas, principalmente en lo referente a las precipitaciones. En dunas con abundante provisión de arena desde el océano, alta capacidad eólica y reducidas precipitaciones que dificulten la vida vegetal, la tarea será larga, difícil e incierta.

Los sistemas de dunas son extremadamente frágiles por lo que aplicadas las primeras medidas de control deben ser aislados y excluidos de la intervención del hombre y de ganado, con el fin de asegurar el establecimiento de la cubierta vegetal.

Especies Vegetales

La sucesión vegetal natural en las dunas del país es lenta, a menudo insuficiente para colonizar la duna y en muchos casos prácticamente inexistente debido a los volúmenes de arena y su intensidad de movimiento. San Martín *et al.* (1992) señalan que se desarrolla una vegetación pobre en especies y en cobertura, como respuesta a las condiciones extremas que imperan en las arenas debido a un sustrato seco, de baja retención de humedad, pobre en nutrientes e inestable, el que además durante el verano suele calentarse en forma excesiva, por lo que las especies colonizadoras son de carácter xerófito. Aún así, los mismos autores indican que la flora de las dunas de la zona central está representada por 186 especies, de las cuales 126 son nativas y 62 exóticas o introducidas.

Algunas especies nativas características de las dunas son *Carpobrotus chilensis*, *Solana paradoxa*, *Euphorbia portulacoides*, *Calystegia soldanella*, *Rumex sanguineus* y otras, sin embargo en materia de control de dunas estas han sido superadas por especies

introducidas desde el norte de Europa, la costa occidental de Norteamérica, las zonas semiáridas de Australia y otras zonas del mundo, que han resultado mejor adaptadas para la contención y repoblación de dunas en Chile.

Es así como las especies más empleadas para estos efectos son introducidas y las más importantes para los trabajos iniciales de control del movimiento de las arenas son la gramínea *Ammophila arenaria* (Barrón) y la leguminosa arbustiva *Lupinus arboreus* (Chocho), para continuar en los trabajos sucesivos incorporando otras especies arbustivas y arbóreas, como *Ambrosia chamissonis*, *Acacia saligna*, *Acacia cyclops*, *Genista hispanica*, *Ulex europaeus* y *Cytisus monspesulanum*. Es importante mencionar que varias de estas especies, principalmente las tres últimas, son muy agresivas e invasoras, por lo que su uso debe ser estudiado y vigilado. En la etapa final de la recuperación de la duna se emplea *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Acacia melanoxylon* u otras especies forestales, en plantaciones que con adecuado manejo serán de carácter productivo.

Diversos ensayos fueron efectuados desde los trabajos de Federico Albert a fines del siglo XIX y principios del siglo XX con el fin de seleccionar especies adecuadas para la forestación de dunas costeras. Actualmente se preserva en el Parque Nacional Federico Albert en la Región del Maule parte de las plantaciones realizadas en esa época por el naturalista alemán, que hoy bordean los 100 años de edad, y están formadas por una cantidad de especies de los géneros *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. robusta*, *E. diversicolor*, *E. bridgesiana*, *E. obliqua*, *E. delegatensis* y *E. ficifolia*), *Pinus* (*P. pinaster*, *P. radiata* y *P. canariensis*), *Cupressus* (*C. arizonica*, *C. lusitanica*, *C. torulosa* y *C. macrocarpa*), *Thuja* (*T. occidentales* y *T. orientalis*); *Quercus* (*Q. suber* y *Q. ilex*), *Casuarina* (*C. stricta* y *C. cunninggamiana*) y otras como *Pseudotsuga menziesii*, *Acacia melanoxylon* y *Sequoia sempervirens* (Villa, 1990).

Hacia el norte, en zonas con bajos niveles de precipitación, también fueron efectuados numerosos ensayos. Vita (1975) sugiere como recomendables para la plantación en dunas costeras de zonas áridas diversas especies del género *Eucalyptus* (*E. gomphocephala*, *E. occidentales*, *E. astringens*, *E. oleosa*, *E. microtheca*, *E. flocktoniae*, *E. salmonophloia*, *E. salubris* y *E. torquata*), *Acacia* (*A. cyclops*, *A. capensis*, *A. radiana*, *A. farnesiana*, *A. aneura*) y algunas otras de los géneros *Parkinsonia*, *Tamarix*, *Spartium*, *Atriplex*, *Prosopis* y *Casuarina*, pero las rigurosas condiciones de sitio imperantes en los campos de dunas, acentuadas por las reducidas precipitaciones, limitaron las posibilidades prácticamente a una especie, *Acacia saligna*, para la forestación en dunas costeras.

Métodos de Control

En los trabajos de control de dunas en Chile, al igual que en muchos lugares del mundo, se han aplicado combinaciones de métodos mecánicos y biológicos. Clásicamente lo que se busca es, mediante la implantación de vegetación menor y el apoyo para esto de barreras mecánicas formadas por ramas u otros materiales, conformar la anteduna o duna litoral paralela a la costa, de ancho y altura variable, tras la protección de la cual se continúa trabajando con especies arbustivas y posteriormente arbóreas.

Se ha obtenido muy buenos resultados en el proceso de fijación inicial de las

arenas mediante la plantación con la gramínea herbácea *Ammophila arenaria*, conocida comúnmente como amófila o barrón. Esta especie fue introducida a Chile desde el Estado de Oregón-USA en los años 1954-1955 (Gormaz, 1974) y fue exitosamente utilizada en el primer programa de control de dunas desarrollado en Arauco a mitad de la década del 60. La especie posee la capacidad de sobrevivir, crecer y multiplicarse en dunas de arrastre grueso y continuo, formando barreras naturales de contención de la arena y una cubierta vegetal que posibilita el establecimiento posterior de otras especies vegetales, herbáceas, arbustivas o incluso arbóreas.

La amófila una vez que se ha establecido se reproduce vegetativamente a través de esquejes, aumentando significativamente la densidad de la cobertura vegetal sobre el suelo y conformando una eficiente barrera vegetal que frena el movimiento de arenas. Su facilidad de propagación posibilita además la extracción de esquejes para repoblar nuevas áreas de dunas.

La práctica habitual considera la plantación de tres esquejes por hoyo y se emplea espaciamientos de plantación que fluctúan entre los 0,3 y los 0,6 metros, dependiendo de la topografía de la duna. Cuando ésta es irregular y existen montículos y depresiones, se aconseja emplear densidades superiores que cuando ésta es regular o plana.



Figura N° 4
TRABAJOS DE CONTENCIÓN CON *Ammophila arenaria* Y SUCESIÓN POSTERIOR
CON OTRAS ESPECIES

La otra especie utilizada en el control de dunas es la leguminosa arbustiva *Lupinus arboreus*, conocida como chocho, que puede alcanzar hasta tres metros de altura, posee un abundante follaje y cumple un doble rol; es una especie fijadora de nitrógeno atmosférico, lo que favorece el crecimiento de la amófila, y su tamaño y follaje producen un importante efecto de protección a la especie arbórea que se implanta en la etapa final de estabilización de las dunas, lo que favorece la incorporación de éstas al uso productivo. Su implantación se obtiene normalmente mediante siembra al voleo de 5 a 8 kilogramos de semilla por hectárea.

Esta especie se degrada aproximadamente a los cinco años y al morir hace un aporte importante de materia orgánica al suelo, mejorando de esa manera su calidad nutritiva. Este proceso es causado generalmente por un enemigo natural que corresponde al insecto lepidóptero *Epitonía aporema*, conocido comúnmente como polilla del brote del chocho o polilla del frijol, el que por usar además como hospedantes varios cultivos agrícolas tradicionales del borde costero tales como alfalfa, frejol, haba y trébol, se transformó en una plaga potencial permanente para el *Lupinus arboreus* (Cogollor, 1985).

La primera oportunidad en que se presentó este problema fue durante los años 1976 a 1978 y ello representó un retroceso en el proceso de estabilización de dunas porque prácticamente desapareció esta especie. En la búsqueda de alternativas que suplieran los aportes de nitrógeno de esta especie se encontró que la aplicación de fertilización nitrogenada, una o dos veces al año, a razón de 100 kilogramos de urea por hectárea, durante los 2 ó 3 primeros años de implantada la amófila, favorece su desarrollo y produce una rápida multiplicación esquejes, tratamiento que se aplica hasta ahora. Se ha privilegiado el uso de urea porque contiene una mayor cantidad de unidades de nitrógeno por unidad de peso, lo que facilita su traslado y aplicación con el consecuente efecto de reducción en los costos.

Se probó otras leguminosas para reemplazar al chocho, tales como *Lupinus aurea*, *Lupinus angustifolia* (lupino azul), *Cytisus monspesolanum* (retamillo) y *Genista hispánica* (retamo), sin embargo éstas a pesar mostrar una buena germinación, presentan algunos inconvenientes. Las dos primeras desarrollan una menor biomasa y por lo tanto su aporte en el proceso de estabilización resulta ser inferior. Las dos últimas son agresivas e invasoras y por competencia comprometen el establecimiento de las especies arbóreas que se implantan con fines productivos posteriormente, una vez estabilizadas las dunas.

Respecto de especies arbóreas, *Pinus radiata* ha sido la más empleada en el proceso de estabilización y uso productivo de las dunas. También han presentado resultados aceptables algunas especies del género *Eucalyptus*, y *Acacia*, sin embargo su uso ha sido más reducido por el mayor riesgo de supervivencia que éstas presentan bajo las difíciles condiciones ambientales que presentan las dunas.

Las altas temperaturas y ausencia de lluvias en verano, así como la pobreza de los suelos conformados casi exclusivamente por arenas inertes y salinas en borde costero, constituyen una limitante de importancia para gran parte de las especies arbóreas.

Aún cuando los componentes esenciales del sistema de control de dunas en Chile no han cambiado sustancialmente a través del tiempo, el conocimiento y experiencia que se ha generado han permitido mejorarlo. En los inicios por ejemplo se le asignaba

una gran importancia a la formación de la anteduna o duna litoral antes de cualquier otro trabajo, lo que se conseguía con la plantación de amófila en una faja de 50 metros de ancho, paralela y muy próxima al borde costero. Una vez consolidada la anteduna, con una diferencia de 2 a 3 años, se realizaba el control de la duna interior mediante la plantación de amófila en fajas paralelas al mar, distantes 20 a 30 metros unas de otras y se iniciaba la siembra de chocho. Obtenida la estabilización de la duna interior, se iniciaba la plantación de la especie arbórea, lo que ocurría normalmente 5 ó 6 años después.

Este método presentaba el inconveniente de producir acumulaciones de arena en forma irregular, formándose gran cantidad de montículos y depresiones en las que se acumulaba agua, dificultándose o impidiéndose la supervivencia y crecimiento de las especies vegetales en los sectores con exceso de humedad.

El método original evolucionó y se adoptó la práctica de controlar en forma simultánea la duna del borde costero o anteduna y las dunas interiores, plantando amófila y sembrando chocho al mismo tiempo, en paños continuos de aproximadamente 200 metros de largo, paralelos a la línea costera, separados por fajas de 5 metros perpendiculares al borde costero, a fin de permitir la formación de canales para la evacuación de las aguas desde el interior hacia el mar, y después de 2 años se plantaba las especies arbóreas.

En la actualidad se planta y siembra todas las especies en forma simultánea, o con un desfase de pocos meses o máximo de un año, y para evitar el descalce inicial de las plantas se apoya su establecimiento con el tendido de ramas con el fin de brindarles una protección mecánica, especialmente en los sectores de dunas de topografía irregular.

Pese a que lupinus muere después de unos 5 años debido al ataque de insectos, la especie continúa en uso debido a su contribución de nitrógeno y la buena protección contra el viento que proporciona durante este período. En caso contrario, si no se siembra lupinus, debe aplicarse el tratamiento de fertilización a la amófila.

SUPERFICIE RECUPERADA Y COSTOS DE CONTROL

Los mayores trabajos de control han sido realizados en el gran complejo de dunas de Arauco, en la Región del Bio Bio, área con precipitaciones cercanas a 1.500 mm por año, y Chanco- Reloca en la Región del Maule, donde precipitan unos 800 mm por año. Los primeros trabajos de consideración en control de dunas en Chile los inició el Estado a través del Ministerio de Agricultura en el año 1965, los prosiguió la Corporación de Reforestación y luego su sucesora la Corporación Nacional Forestal (CONAF). A partir del año 1974, con la promulgación del Decreto Ley 701 que incentiva las actividades de control de dunas y de forestación, se inició la participación del sector privado en esta labor.

En virtud del mencionado Decreto Ley, el Estado bonifica en aproximadamente US \$ 920 por hectárea el control y forestación de dunas cuando los propietarios de los terrenos demuestran ante CONAF la realización exitosa de los trabajos correspondientes. Previamente se debe haber obtenido la aprobación por parte de CONAF del estudio técnico con los detalles y justificaciones del plan a ejecutar.

Información obtenida de CONAF permite estimar en algo más de 32.000 hectáreas la superficie actual de dunas costeras controladas y estabilizadas mediante los trabajos señalados, unas 8.000 hectáreas en la Región del Maule, unas 24.000 hectáreas en la Región del Bio Bio y superficies menores en otras regiones del norte. Esto representa más del 60% de la superficie total de dunas costeras de las Regiones del Maule y del Bio Bio.

El Estado ha jugado un rol preponderante en esta labor, primero ejecutando en forma directa trabajos de control, estabilización y forestación de las dunas hasta el año 1973, sobre una superficie cercana a 24.000 hectáreas, y luego, a contar del año 1974, incentivando el accionar de los privados mediante el otorgamiento de bonificaciones. Bajo este sistema el Gobierno de Chile ha pagado US \$ 2,16 millones a propietarios privados y se ha recuperado para la producción una superficie cercana a las 9.000 hectáreas (INFOR, 2005).

El costo de control y forestación de dunas es de unos US\$ 1.270 por hectárea y su composición es indicada en el Cuadro N° 2. En Apéndice N° 1 se detallan estándares de mano de obra y costos.

**CUADRO N° 2
COSTOS DE CONTROL Y FORESTACIÓN DE DUNAS**

ACTIVIDAD	COSTO (US\$ / ha)
Plantación de <i>Ammophila arenaria</i>	504
Siembra de <i>Lupinus arboreus</i>	8
Fertilización con Nitrógeno	149
Cubrimiento con ramas	360
Plantación con <i>Pinus radiata</i>	250
Total	1,270

USO PRODUCTIVO DE LAS DUNAS

Gran parte de las dunas interiores está bajo uso forestal productivo, principalmente con plantaciones de pino radiata. En el caso de las dunas costeras, pino radiata es también la especie más utilizada, pero en áreas en que la invasión de arenas es más reciente y el suelo original está aún al alcance de las raíces, es posible también la plantación de *Eucalyptus globulus* con buenos resultados si las condiciones climáticas lo permiten.

La productividad de las dunas es variable según la fertilidad y profundidad a que se encuentra el suelo que fue cubierto por arena, la profundidad de las arenas y su capacidad de retención de agua, y otros factores importantes como el régimen de precipitaciones, los vientos y las temperaturas.

La rentabilidad media de las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en dunas estabilizadas en zonas de 800 a 1.500 mm por año de precipitación, es cercana al 10 % (TIR). El régimen de manejo para pino puede considerar el establecimiento de 1.100 a 1.600 plantas por hectárea, un raleo a desecho a los 6 años de edad, un primer raleo comercial a los 12 años de edad obteniendo unos 30 metros cúbicos de madera por hectárea para uso pulpable, un segundo raleo comercial a los 16 años de edad obteniendo 60 metros cúbicos de madera por hectárea para uso pulpable, y cosecha a los 24 años con un rendimiento cercano a 240 metros cúbicos de madera por hectárea para uso pulpable y aserrío. Dependiendo de la calidad del sitio se puede aplicar podas a los 6 y 8 años hasta 6 a 7 m de altura.



Figura N° 5
PLANTACIONES FORESTALES SOBRE DUNAS ESTABILIZADAS

El manejo de plantaciones de eucalipto se orienta a la producción de madera para pulpa y no considera intervenciones silvícolas. La cosecha se realiza a los 15 años con rendimientos aproximados de 170 metros cúbicos por hectárea.

En ambos casos la bonificación del Estado es considerada un ingreso en el flujo de caja en el año 2.

Esto niveles de rentabilidad han interesado al sector privado para invertir en este tipo de terrenos, que presentan valores de US \$ 300 a 400 por hectárea, significativamente menores que los correspondientes a suelos forestales más productivos que pueden llegar a US\$ 1,200 por hectárea y alcanzar hasta US\$ 2,500 por hectárea en los mejores sitios y ubicaciones. En Apéndice N° 2 se detallan flujos de caja y base de cálculo para cada caso.

REFERENCIAS

Astromia. La Tierra y La Luna. La Erosión Producida por el Viento. En línea <http://www.astromia.com/tierraluna/erosionviento.htm> (Consulta Octubre 2005).

Borgel, Reynaldo, 1963. Las Dunas Litorales en Chile. Universidad de Chile, Facultad de

Filosofía y Educación. Instituto de Geografía.

Castro, Consuelo, 1985. Reseña del Estado Actual del Conocimiento de las Dunas Litorales de Chile. Instituto de Geografía de la Universidad Católica. En: Revista Geográfica de Chile. Terra Australis 28 (1984-1985). Ed. Instituto Geográfico Militar. Chile.

Cogollor G., 1985. Estudio del ciclo biológico de los insectos dañinos en *Lupinus arboreus*, "chocho". Estudio para el control químico de los insectos causantes del daño en *Lupinus arboreus*, "chocho". Universidad de Chile, Bosque Ingeniería Ltda., CONAF, Forestal Arauco Ltda. Santiago.

CONAMA y MINIAGRI, 2004. Propuesta Plan Nacional de Conservación de Suelos. Comisión Nacional del Medio Ambiente y Ministerio de Agricultura. Chile.

Dunas de Arena. Dirección de Conservación de Suelos, Consejo Agrario Provincial. Santa Cruz Argentina. En línea <http://www.scruz.gov.ar/recursos/erosion/erosion.htm> (Consulta Octubre 2005).

Elizalde, Rafael, 1970. La Supervivencia de Chile. Segunda Edición. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile.

Gormaz, Manuel, 1974. Las Dunas. Ed. Corporación Nacional Forestal. Chile.

INFOR, 1966. Inventario de las Plantaciones Forestales de la Zona Centro Sur de Chile. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 24.

INFOR, 2010. Anuario Forestal. Instituto Forestal. Chile. Boletín Estadístico N° 128.

IREN, 1966. Instituto de Investigación de Recursos Naturales – CORFO, Inventario de Dunas en Chile. Publicación N° 4-

Paskoff, Rolando y Manríquez, Hermann, 2004. Las Dunas de Las Costas de Chile. Instituto Geográfico Militar. Chile.

Sand Dunes Phenomena of the Wind (Desert USA). En línea <http://www.desertusa.com/magia98/dune> (Consulta Octubre 2005).

Villa, Alex, 1990. Reserva Forestal Federico Albert. Primer Paso en la Lucha contra las Dunas. En: Chile Forestal N° 174. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile.

Vita, Antonio, 1975. Metodología para el Control y Aprovechamiento de Dunas Litorales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Manual N° 3.

APÉNDICE 1.

ESTANDARES Y COSTOS DE CONTROL

Plantación de *Ammophila arenaria*

Densidad plantación	0,5x0,5 m
N° hoyos / ha	40.000
1.- Costo esquejes	
N° esquejes / hoyo	3
N° esquejes / ha	120.000
N° esquejes / paquete	500
N° paquetes / ha	240
Costo paquete (US\$)	1,5
Costo esquejes/ha (US\$/ha)	360,0
2.- Costo plantación	
Rendimiento (jornadas/ha)	6
Valor jornada (US\$)	24,0
Costo plantación (US\$/ha)	144,0
Costo total plantación (US\$/ha)	504,0

Siembra de *Lupinus arboreus*

1.- Costo semillas	
N° kilos / ha	8
Costo unitario (US\$/kg)	0,4
Costo semilla x ha (US\$/ha)	3,2
2.- Costo siembra	
Rendimiento (jornadas/ha)	0,2
Valor jornada (US\$)	24,0
Costo siembra (US\$/ha)	4,8
Costo total siembra (US\$/ha)	8,0

Enramado

1.- Costo ramas	
N° carros / ha	20
Costo flete (US\$/carro)	6,0
Costo ramas x ha (US\$/ha)	120,0
2.- Costo corte, carga y distribución	
Rendimiento (jornadas/ha)	10,0
Valor jornada (US\$)	24,0
Costo enramado (US\$/ha)	240,0
Costo total enramado (US\$/ha)	360,0

Costo total estabilización y plantación (US\$/ha) 1.270,4

Bonificaciones

Estabilización de dunas (US\$/ha)	401,8
Forestación (US\$/ha)	518,0
Total (US\$/ha)	919,8

Tasa de cambio : \$ Chilenos / 1 US\$

500

Fertilización nitrogenada con urea

1.- Costo fertilizante	
N° kilos / ha	100
Costo unitario (US\$/kg)	0,5
Costo fertilizante x ha (US\$/ha)	50,4
2.- Costo aplicación	
Rendimiento (jornadas/ha)	1,0
Valor jornada (US\$)	24,0
Costo fertilización (US\$/ha)	24,0
Costo total fertilización (US\$/ha)	74,4
Costo total 2 fertilizaciones (US\$/ha)	148,8

Plantación de *Pinus radiata*

Densidad plantación	2,5x2,5 m
N° hoyos / ha	1.600
1.- Costo plantas	
N° plantas / ha	1.600
Costo unitario plantas R/C (US\$ /1.000)	90,0
Costo unitario flete plantas (US\$ /1.000)	6,0
Costo plantas/ha (US\$/ha)	153,6
2.- Costo plantación	
Rendimiento (jornadas/ha)	4
Valor jornada (US\$)	24,0
Costo plantación (US\$/ha)	96,0
Costo total plantación (US\$/ha)	249,6

APENDICE N° 2 FLUJOS DE CAJA Y BASE DE CÁLCULO

FLUJO DE CAJA - PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D Don

Año	Actividad	Costos (US \$/ha)	Ingresos (US\$/ha)	Margen (US\$/ha)
0	Estabilización y Plantación	1.270	0	-1.270
1	Fertilización y Bonificación	100	920	820
2	Mantenimiento	10	0	-10
3	Mantenimiento	10	0	-10
4	Mantenimiento	10	0	-10
5	Mantenimiento	10	0	-10
6	Podá 1 y Raleo a Desecho	100	0	-100
7	Mantenimiento	10	0	-10
8	Podá2	60	0	-60
9	Mantenimiento	10	0	-10
10	Mantenimiento	10	0	-10
11	Mantenimiento	10	0	-10
12	Raleo Comercial 1	546	684	138
13	Mantenimiento	10	0	-10
14	Mantenimiento	10	0	-10
15	Mantenimiento	10	0	-10
16	Raleo Comercial 2	1.092	1.524	432
17	Mantenimiento	10	0	-10
18	Mantenimiento	10	0	-10
19	Mantenimiento	10	0	-10
20	Mantenimiento	10	0	-10
21	Mantenimiento	10	0	-10
22	Mantenimiento	10	0	-10
23	Mantenimiento	10	0	-10
24	Cosecha	4.368	8.868	4.500

VNA (10%)	\$2.342
VNA (8%)	\$2.956
TIR	9,4%

BASE DE CALCULO PLANTACIONES *Pinus radiata* D Don

RALEO COMERCIAL 1	VALOR	UNIDAD
rendimiento	30	m3/ha
costo de cosecha	8,2	\$/m3
costo carguo y transporte	10,0	\$/m3
ingreso venta madera pulpa	22,8	\$/m3

RALEO COMERCIAL 2	VALOR	UNIDAD
rendimiento	60	m3/ha
costo de cosecha	8,2	\$/m3
costo carguo y transporte	10,0	\$/m3
ingreso venta madera pulpa	25,4	\$/m3

COSECHA	VALOR	UNIDAD
rendimiento	240	m3/ha
pulpable	60	m3/ha
aserrable	180	m3/ha
costo de cosecha	8,2	\$/m3
costo carguo y transporte	10,0	\$/m3
ingreso venta madera pulpa	25,4	\$/m3
ingreso venta madera aserrable	40,8	\$/m3

FLUJO DE CAJA - PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus*

Año	Actividad	Costos (US \$/ha)	Ingresos (US\$/ha)	Margen (US\$/ha)
0	Estabilización y Plantación	1.270	0	-1.270
1	Fertilización y Bonificación	100	920	820
2	Mantenimiento	10	0	-10
3	Mantenimiento	10	0	-10
4	Mantenimiento	10	0	-10
5	Mantenimiento	10	0	-10
6	Mantenimiento	10	0	-10
7	Mantenimiento	10	0	-10
8	Mantenimiento	10	0	-10
9	Mantenimiento	10	0	-10
10	Mantenimiento	10	0	-10
11	Mantenimiento	10	0	-10
12	Mantenimiento	10	0	-10
13	Mantenimiento	10	0	-10
14	Mantenimiento	10	0	-10
15	Cosecha	3.740	6.188	2.448

VNA (10%)	\$2.569
VNA (8%)	\$3.179
TIR	10,0%

BASE DE CALCULO PLANTACIONES *Eucalyptus globulus*

COSECHA	VALOR	UNIDAD
rendimiento	170	m3/ha
costo de cosecha	10,0	\$/m3
costo carguo y transporte	12,0	\$/m3
ingreso venta madera pulpa	36,4	\$/m3

