



APORTE AL CONOCIMIENTO DE LA GESTIÓN SUSTENTABLE

# EL AGUA Y LAS PLANTACIONES FORESTALES

JUNIO 2015

[www.corma.cl](http://www.corma.cl)

LA PRINCIPAL CAUSA DE LA ESCASEZ DE AGUA EN LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE TIENE UN ORIGEN CLIMÁTICO QUE TRAE AÑOS CON DÉFICIT DE PRECIPITACIONES. LA ESCASEZ SE ACENTÚA TAMBIÉN POR EL AUMENTO EN LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO.

En general, las plantaciones de Pino y Eucalipto no son regadas y sólo consumen aguas lluvias.

DURANTE LA TEMPORADA ESTIVAL LOS ÁRBOLES UTILIZAN MENOS AGUA QUE LOS CULTIVOS DE RIEGO, PERO CONSUMEN MÁS AGUA QUE PASTOS O PRADERAS DE SECANO.

Las raíces de las plantaciones de Pino y Eucalipto extraen el agua del suelo principalmente en los primeros 3 metros de profundidad, por lo tanto no deberían afectar pozos que tengan nivel de agua más profunda.

BAJO LAS MISMAS CONDICIONES, ESPECIES COMO PINO Y EUCALIPTO TRANSPIRAN A TASAS SIMILARES, Y SON MÁS EFICIENTES EN PRODUCIR BIOMASA QUE ESPECIES FORESTALES NATIVAS Y ALGUNOS CULTIVOS AGRÍCOLAS.

A nivel de grandes cuencas (mayor a 2.000 ha), la cobertura de plantaciones de Pino y Eucalipto no tienen efecto significativo en la variación de la cantidad de agua disponible en la desembocadura de la cuenca.

SI UNA CUENCA ES DE SUPERFICIE INFERIOR A 2.000 HECTÁREAS Y EXISTE MÁS DE UN 20% CUBIERTO DE PLANTACIONES DE PINO O EUCALIPTO, ESTAS SÍ PUEDEN EJERCER UN EFECTO SOBRE LA ESCORRENTÍA ANUAL, SI SE COMPARA CON LA CONDICIÓN DE PRADERAS.

En Chile, las plantaciones de Pino y Eucalipto capturan CO<sub>2</sub> por el equivalente a un 30% de las emisiones totales que se producen anualmente.

LAS PLANTACIONES DE PINO Y EUCALIPTO SON UN RECURSO NATURAL RENOVABLE Y SUSTENTABLE, QUE GENERA EMPLEO, BIENES Y SERVICIOS, QUE MITIGA LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, PROTEGE EL SUELO Y DISMINUYE LA PRESIÓN DE USO SOBRE LOS BOSQUES NATIVOS POR MADERA, LEÑA Y FIBRA NATURAL.

COMITÉ DE AGUA DE CORMA

EL AGUA Y LAS PLANTACIONES FORESTALES es un documento elaborado por el Comité de Agua de la Corporación Chilena de la Madera (CORMA), con el objetivo de proporcionar respuesta a las principales inquietudes de la comunidad respecto al uso del agua por las plantaciones de Pino y Eucalipto.

Para contestar estas preguntas, se revisó una amplia bibliografía a nivel nacional e internacional sobre el tema, la cual puede encontrarse en [www.corma.cl](http://www.corma.cl). Lo anterior se complementó con información de entrevistas a expertos nacionales en hidrología y silvicultura de las principales Universidades, Institutos y Empresas del país.

**Comité de Agua**  
**Corporación Chilena de La Madera**  
**Concepción, Junio 2015.**

# ÍNDICE

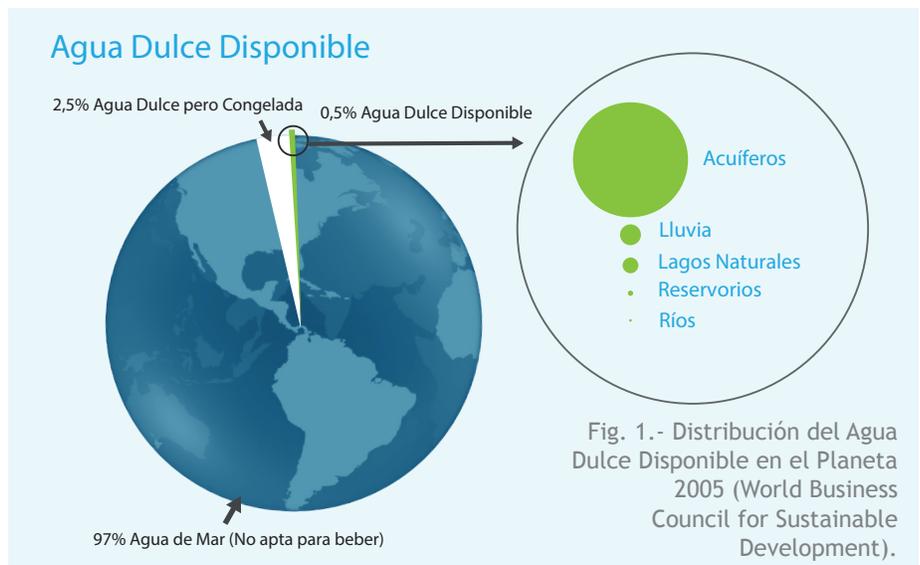
MARCO GENERAL .....	04
CONSUMO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA .....	06
COBERTURA FORESTAL Y TAMAÑO DE LAS CUENCAS .....	08
PREGUNTAS DE LA COMUNIDAD .....	
1. ¿Por qué hay menos agua en los esteros de la zona centro sur de Chile? ¿Son las plantaciones forestales responsables de la baja de niveles de los esteros? .....	09
2. ¿Cuál es el efecto de las plantaciones en el nivel de agua de pozos, punteras y norias? .....	16
3. ¿Es verdad que el bosque nativo produce agua y las plantaciones la consumen? .....	18
4. ¿Qué especie consume más agua, el Pino o el Eucalipto? ¿cómo se comparan con el consumo de cultivos agrícolas? .....	19
5. ¿Cuánta agua consume un árbol y una persona al día? .....	22
6. ¿Cuál es el efecto de las plantaciones en la calidad del agua? .....	22
7. ¿Qué medidas contribuyen a mejorar la cantidad y calidad de agua en una micro-cuenca de aptitud forestal? .....	26
8. He escuchado sobre el cambio climático y me preocupa no saber si dispondré de agua en el futuro .....	28
9. ¿Qué efectos positivos tienen las plantaciones en relación al agua? .....	29
BIBLIOGRAFÍA .....	34



1.- Salto del Itata

## MARCO GENERAL

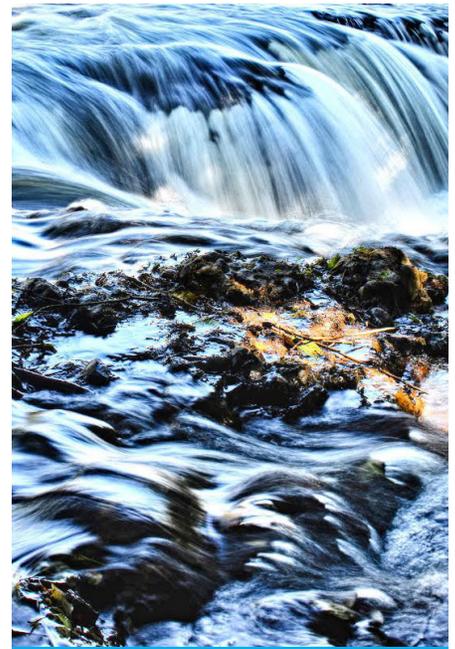
La existencia de agua en nuestro planeta es una de las características que lo hace tan único, sin embargo el agua dulce disponible es menos del 0,5% del total y es la que se utiliza para consumo humano (Fig.1). Se estima que al año 2050, la demanda mundial de agua habrá aumentado en un 55%. Esta relativa escasez de agua dulce en un escenario de mayor demanda, ha adquirido relevancia mundial y la industria forestal chilena ha querido recopilar algunas de las más recientes investigaciones a nivel nacional e internacional a fin de entregar respuestas simples a las principales inquietudes de la comunidad, respecto al agua y las plantaciones de Pino y Eucalipto.



Aun cuando existe una gran cantidad de información y numerosos estudios acerca de los efectos de las plantaciones forestales y la disponibilidad de agua, muchas dudas al respecto aún persisten.

En parte, esto se debe a la dificultad para generalizar una respuesta común en contextos diferentes que dependen de un gran número de factores, los cuales además varían ampliamente e interactúan entre sí. Entre estos factores destacan los siguientes:

- Comportamiento y variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones y los eventos climáticos; (“El Niño, La Niña”);
- Características de las cuencas y su tamaño, ubicación geográfica, geología, geomorfología y tipo de suelo;
- Interacción aguas superficiales y subterráneas;
- Uso actual e histórico del suelo;
- Posición de las plantaciones forestales en la cuenca, en relación al punto de medición de la disponibilidad de agua;
- Características de las plantaciones forestales : Edad, densidad, especie, etc.
- Presencia de obras civiles como caminos, drenajes, taludes.



2.- Salto del Laja



Es importante entender que la disponibilidad, calidad y demanda de agua, puede ser analizada a una escala regional o local. A nivel regional, existe consenso que las plantaciones de Pino y Eucalipto no se diferencian de otras cubiertas vegetales respecto al agua disponible en una cuenca (Pizarro, 2014). No obstante las plantaciones forestales, en determinadas condiciones, sí pueden ejercer un efecto local en cuencas pequeñas (bajo 2.000 ha).

A nivel local, la implementación de soluciones específicas como acumulación de agua lluvia en invierno y profundización de pozos son importantes para mitigar la escasez de agua de manera más permanente, así como la mayor cobertura y materialización de proyectos de agua potable rural.

Este documento tiene por objetivo enriquecer el debate sobre la interacción agua y plantaciones, identificando preguntas recurrentes y contribuyendo con antecedentes para estructurar respuestas, basadas en conocimiento científico actual, en un lenguaje simple y con el formato accesible.



3.- Rucamanqui

## CONSUMO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA

Con respecto al uso consuntivo del agua en nuestro país, al año 2010 el 73% se destinó a la agricultura, 12% a la industria, 9% a la minería y 6% al uso doméstico (Fig. 2). De este consumo, al año 2006, 5,9% provino desde aguas subterráneas.

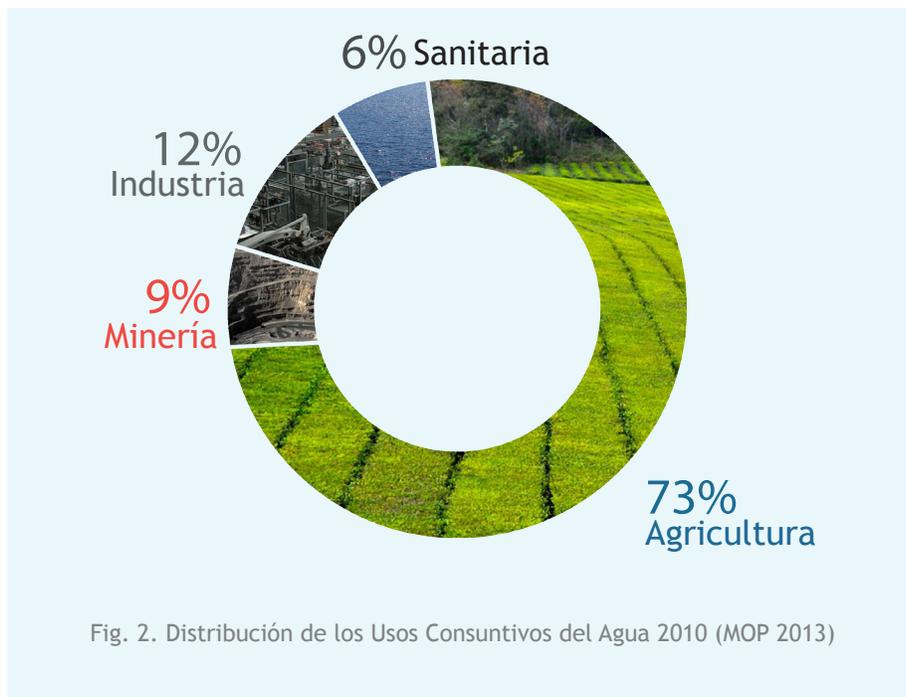


Fig. 2. Distribución de los Usos Consuntivos del Agua 2010 (MOP 2013)

Así, en Chile 400 mil agricultores riegan más de un millón de hectáreas cada año y representan el 73% de las extracciones consuntivas de agua. (Apey, A. 2012; INE 2007).

Con respecto a disponibilidad y demanda de agua, como se aprecia en la Figura 3, en la macrozona forestal comprendida entre las regiones de Maule y la Araucanía, a nivel anual no existe una escasez de agua respecto a la oferta natural. Sin embargo, en determinadas situaciones puede registrarse escasez de agua en el período estival, cobrando relevancia el efecto del uso del suelo en la mayor o menor disponibilidad de agua a escala de microcuenca.



4.- Cañete, Biobío.

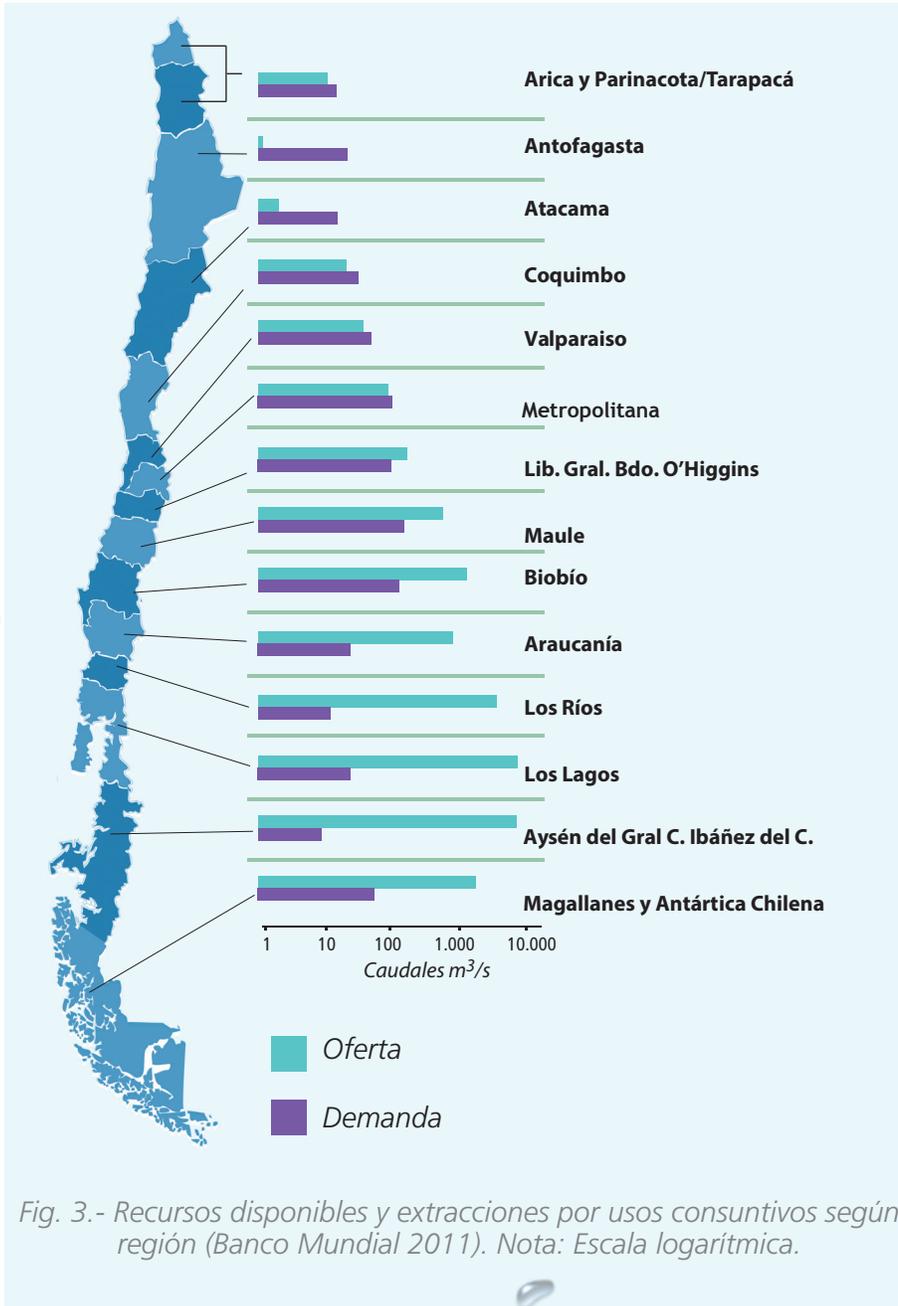


Fig. 3.- Recursos disponibles y extracciones por usos consuntivos según región (Banco Mundial 2011). Nota: Escala logarítmica.





5.- Río Cochamó

## COBERTURA FORESTAL Y TAMAÑO DE LAS CUENCAS

La calidad del agua y la cantidad de escorrentía son el resultado de una compleja interacción entre la precipitación, el clima, los tipos de suelo, la geología, geomorfología y el uso del suelo.

Respecto al uso del suelo, en general, en cuencas con cubierta forestal, la disponibilidad de agua es inversamente proporcional al porcentaje cubierto con plantaciones forestales o bosques nativos en general. A mayor porcentaje de cobertura forestal, menor disponibilidad de agua a la salida de la cuenca.

(Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R. 1967; Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982; Zhang, L., Dowling, T. Hocking, M., Morris, J., Adams, G., Hickel, K., Best, A. and Vertessy, R. 2003).

Sin embargo, dicho efecto depende del tamaño de la cuenca. En cuencas de superficie inferior a 2.000 ha y con menos de un 20% cubierto con plantaciones, es difícil verificar un efecto significativo de las plantaciones en la disminución del caudal, respecto a la condición de pradera.

Por el contrario, si en una cuenca pequeña existe más de un 20% cubierto con plantaciones, éstas sí pueden ejercer un efecto mayor en la disponibilidad de agua respecto a si la superficie estuviera cubierta con pradera. En cuencas sobre 2.000 ha, este efecto de las plantaciones dejaría de ser significativo, cobrando relevancia otros factores como el suelo, la geomorfología y las precipitaciones. (Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R. 1967; Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982; Zhang, L., Dowling, T. Hocking, M., Morris, J., Adams, G., Hickel, K., Best, A. and Vertessy, R. 2003; Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. 1999; Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. 2001).

## PREGUNTAS DE LA COMUNIDAD:

### 1. ¿POR QUÉ HAY MENOS AGUA EN LOS ESTEROS DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE? ¿SON LAS PLANTACIONES FORESTALES RESPONSABLES DE LA BAJA DE NIVELES DE LOS ESTEROS?

Según expertos nacionales, el régimen de precipitación es el principal determinante de la variabilidad en los caudales de ríos y esteros. Sin embargo a nivel local y en cuencas de superficie bajo las 2.000 ha, la cobertura vegetal comienza a ser otro factor relevante. En este caso, donde hay cobertura de plantaciones de Pino y Eucalipto o bosque nativo mayor al 20% de la superficie total de la cuenca, sí podrían registrarse efectos significativos en la cantidad de agua que sale de la cuenca, respecto a la misma superficie cubierta con praderas. (Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. 2001; Zhang, L.; Zhao, F.F.; Chen, Y.; Dixon, R.N.M. 2011; .Iroumé, A. and Palacios, H. 2013).

Al comparar cubierta forestal con pradera respecto a la disponibilidad de agua de la cuenca existen dos componentes del balance hídrico que determinan diferencias entre ambos tipos de coberturas:

- **La interceptación:** Evaporación del agua de lluvia que queda en las hojas de los árboles, arbustos y pastizales. Ésta es mayor en árboles que en pastizales.
- **La transpiración:** Consumo de agua de las plantas, que absorben desde sus raíces y que luego evaporan a la atmósfera. Ésta puede ser mayor en árboles que en pastizales.

Lo anterior determina que la cantidad de agua que queda disponible ya sea para infiltración y/o escurrimiento superficial, sea mayor en praderas que en cubiertas forestales nativas o plantadas, (Fig. 4) (Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982 ;Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. 2001; Holmes, J.W. and Sinclair, J.A. 1986; Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., and Vertessy, R. A.2005; Huber y Trecaman1999), lo cual es válido cuando la precipitación anual supera los 500 mm (Fig. 5).



6.- Humedal





7.- Río Huequecura



	PRADERA*	EUCALIPTUS NITENS**
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	1253,5 ↓	1253,5 ↓
INTERCEPCIÓN (mm)	-----	402,5 ↑
		
PRECIPITACIÓN NETA (mm)	1253,5 ↓	851 ↓
TRANSPIRACIÓN (mm)	572	605
TRANSPIRACIÓN + INTERCEPCIÓN (mm)	572	1005,5
PERCOLACIÓN / ESCURRIMIENTO (mm) Porcentaje de la Precipitación	621,5 50% ↓	218,5 17% ↓

Fig. 4. Comparación de componentes del balance hídrico entre pradera natural y plantación de Eucalipto, zona Collipulli. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Huber y Trecaman (1999).

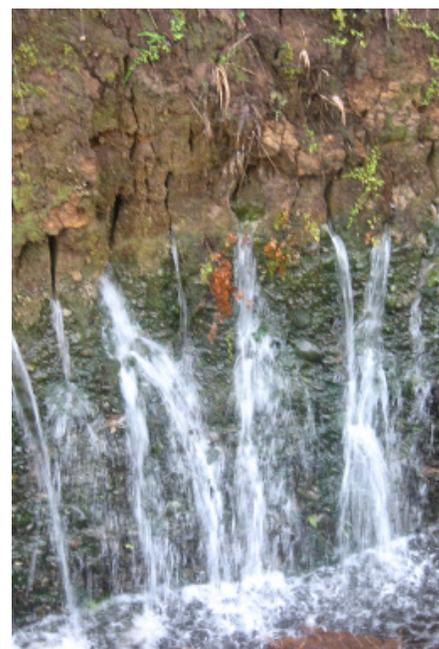
\* Pradera natural de baja densidad de *Agrostis capillaris* y *Holcus lanatus*.

\*\* Plantación forestal de 8 años de edad a 1550 árboles/ha.

De la figura anterior, se desprende que la transpiración entre ambas coberturas, pradera y plantación de Eucalipto, es muy similar, del orden del 45 a 48% de la precipitación total y la diferencia en percolación que se observa entre ambas, se debe fundamentalmente a que la intercepción del agua de lluvia por el follaje del eucalipto representó un 32% de la precipitación en este estudio y en pradera se asumió igual a 0. Este impacto de la intercepción es común en cualquier cubierta forestal, sean plantaciones de Pino, Eucalipto o naturales.

## ¿De qué magnitud puede llegar a ser el efecto en la esconterría?

El modelo de Zhang (Zhang *et al.* 2001) derivado de datos de 250 cuencas en diferentes ambientes en el mundo, permite comparar a niveles anuales el consumo de agua de praderas con cubiertas de bosques para diferentes montos de precipitación (Fig. 5). Este modelo permite estimar la magnitud de las diferencias máximas en evapotranspiración entre ambas coberturas y por ende, la cantidad de agua que sale a nivel anual de una cuenca. El modelo no considera estados transicionales de edades jóvenes de las plantaciones o el efecto de diversos manejos forestales, por lo que el consumo de agua de esta condiciones debiera situarse entre ambas curvas.



8.- Suelo Ñadi

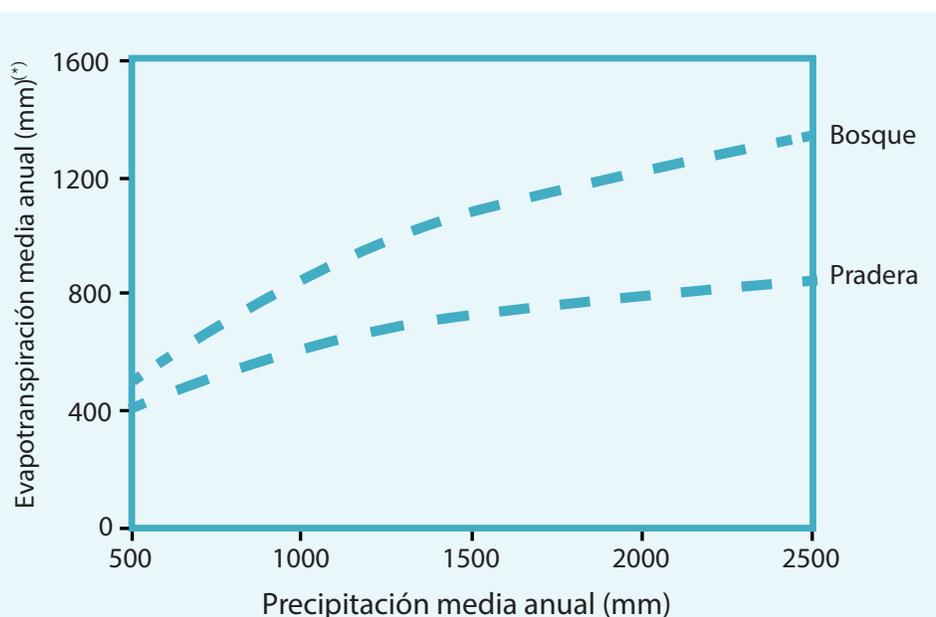


Fig. 5. Relación entre precipitación media anual y evapotranspiración anual de plantación forestal y pradera. (Zhang *et al.* 2001).

(\*) Incluye Intercepción





9.- Central Angostura,  
Biobío

Como se puede inferir observando la Figura 5, si la precipitación anual varía entre 500-1000 mm, la diferencia en evapotranspiración de ambas coberturas (bosque y pradera) aumenta desde 0 a un máximo de 200 mm, siendo mayor en bosque. En consecuencia, la diferencia en escorrentía entre ambas coberturas es en promedio 100 mm al año, para el rango de precipitación indicado.

De manera similar, si el rango de precipitación anual es de 1000-1500 mm, la diferencia en evapotranspiración de ambas coberturas (bosque y pradera) aumenta desde 200 a un máximo de 350 mm, por ende se deduce una diferencia en escorrentía del orden de 275 mm al año, para el rango de precipitación indicado ¿Respecto a qué? Respecto al mismo terreno comparando inicialmente 100% de la superficie cubierta con praderas con esa misma superficie 100% cubierta por plantaciones adultas, es decir en su máximo consumo.

En consecuencia, esta comparación extrema las diferencias en cobertura vegetal, pues se refiere a praderas de secano, no refleja los estados transicionales de diversas clases de edad en las plantaciones (estados iniciales presentan menor consumo de agua) ni el manejo forestal, por ejemplo, raleos, ni las estructuras de cobertura vegetal más complejas (diversos tipos de cobertura, bosques mixtos), y ubicación de las plantaciones en la cuenca. (Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. 2001; Polglase, P. and Benyon, R. 2008; McGuire D. Bren, L. 2013; Keenan, R., Parsons, M., Gerrand, A., O'Loughlin, E., Beavis, S., Gunawardana, D., Gavran, M. and Bugg, A. 2004; Jofré, P., Büchner, C., Ipinza R., Bahamondez, C., Barros, S., García, P., Cabrera, J. 2013).

No obstante, después de la cosecha y durante los años iniciales de la plantación forestal, aumenta la escorrentía porque en estos periodos la pérdida por intercepción así como la evapotranspiración son menores respecto a una plantación adulta, debido al estado de desarrollo inicial del bosque hasta su cierre de dosel. (Vertessy, R.A.; Watson, F.G.R.; O'Sullivan, S.K.2001; Bren, L. J., Lane, P. and McGuire, D. 2006; Oyarzún, C. y Huber, A. 1999; Scott, D. F., and F. W. Prinsloo 2008; O'Loughlin, E. and Nambiar, E. K. S. 2001).

Modelos como el de Zhang, proveen predicciones sólo de los efectos a largo plazo sobre la media de los flujos anuales. Para predicciones más específicas acerca de los efectos del cambio de uso de suelo sobre los recursos hídricos a escala anual o estival, se requieren modelos, apoyados por observaciones locales de escorrentía y uso de agua por la vegetación, los cuales aun no han sido desarrollados y validados para la realidad Chilena.



10.- Laguna Grande, San Pedro de la Paz





11.- Río Conchamó

## ¿Cómo influye el clima?

- Cambios en el régimen de precipitaciones:

La precipitación en Chile es uno de los elementos del clima que mayor variación presenta tanto latitudinal y altitudinal, así como temporal en escalas de tiempo entre días, estaciones, años, decenios y siglos.

Estudios en Chile revelan una disminución de la precipitación en la región centro-sur del país durante las décadas más recientes, la cual se asocia con una disminución de la frecuencia de días con precipitación así como de la intensidad de las lluvias. (Quintana, J., 2004; Quintana J. y Aceituno, P. 2006; Bevilacqua, R. 2014.; Rivera 2014).

Durante la década del 2003-2013, se registraron años con precipitaciones bajo el promedio normal, afectadas por eventos climáticos globales de “El Niño” y “La Niña”. Según datos de la Dirección Meteorológica, dicha década fue la más seca desde el año 1866 para la zona central de Chile, que comprende desde la región de Coquimbo hasta la región de la Araucanía, y el 2013 se perfiló como el quinto año consecutivo de déficit pluvial en la zona.

En Chillán, por ejemplo, la variabilidad interanual es de 25% respecto del promedio que llega a 1.000 mm/año para un año normal. Dicho en términos simples, se observa que en Chillán las precipitaciones anuales pueden alcanzar los 750 mm (Fig. 6), mientras que con un par de años de diferencia éstas pueden llegar a 1.250 mm/año, lo cual sin duda ya significa un 25% de efecto en la disponibilidad de agua de lluvia, bajo cualquier tipo de cobertura.

## Antecedentes Región del Biobío

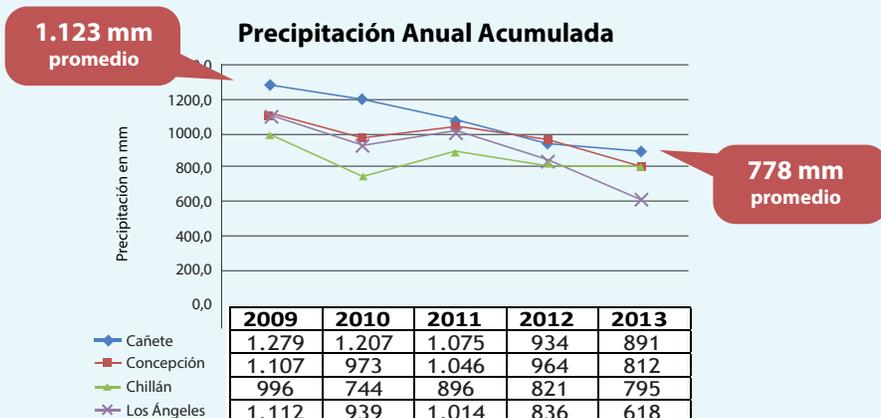


Fig. 6. Variabilidad interanual de las precipitaciones en 4 ciudades de la Región del Biobío, Chile.

Fuente : Durán A. Coordinador Región del Biobío del Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos. Política y plan de acción para los recursos hídricos. Gobierno de Chile. Chillán, 5 Julio de 2014



12.- Nido y Huevos de Tagua en Humedal



- Menor almacenamiento de agua de nieve:

Otro efecto del cambio climático se ha reflejado en las zonas altas de la Cordillera de los Andes. En los Andes centrales de Chile la altitud de la isoterma 0°C ha aumentado en promedio 23 m/década en el período 1958-2006, como resultado del aumento de las temperaturas. Esto ha provocado una reducción del área andina que almacena nieve, por lo cual disminuye el agua de deshielos en primavera. (Carrasco, J., Casassa, G. and Quintana, J. 2005; Carrasco, J., Osorio, R. and Casassa, G. 2008; Santibáñez, F. 2008).

Estos cambios en la línea de nieve, significan, en la práctica que nuestro “embalse natural de agua” en forma de nieve, útil para la época estival está disminuyendo de nivel.



13.- Salto del Laja

La línea de nieve remontará la cordillera unos 300-500 m durante este siglo, afectando el régimen de los ríos y disminuyendo la escorrentía.

*Fig. 7. Cambios en el nivel de la isoterma 0, debido al aumento en la temperatura de la alta cordillera de Los Andes, Chile Central.*  
*Fuente : Fernando Santibáñez. Il Congreso Nacional de Recursos Hídricos, Temuco (2013).*



La baja en las precipitaciones y la cota de nieve más alta (Fig. 7), son los factores principales que determinan una disminución de caudales, que se manifiesta en los meses de primavera, verano y otoño; y ocasiona que no alcancen a rellenarse las napas y acuíferos subterráneos.

## **2. ¿CUÁL ES EL EFECTO DE LAS PLANTACIONES EN EL NIVEL DE AGUA DE POZOS, PUNTERAS Y NORIAS?**

Los árboles pueden extraer agua de la napa sólo si sus raíces logran acceder a ella, por lo cual no hay efecto de las plantaciones si los niveles de los pozos y norias se encuentran más profundos que las raíces de los árboles.

Las especies de rápido crecimiento como Pino y Eucalipto concentran sus sistemas radiculares de absorción de agua en los primeros 50 cm del suelo hasta 2,5 m de profundidad máxima, pudiendo acceder por efecto de succión a napas que estén a menos de 3 metros de profundidad y eventualmente, hasta 6 m de profundidad, como se ha determinado en otros países.

En general, la profundidad promedio desde la superficie hasta el nivel del agua o nivel dinámico de las norias, es de 6-8 m en la zona centro-sur del país, lo cual viene dado por la disponibilidad de agua desde los acuíferos.



Es relevante considerar que en las cuencas andinas y en algunas cuencas del valle central de Chile, la recarga del agua subterránea proviene principalmente de los deshielos cordilleranos, y por infiltración del agua de lluvia.

En cuencas de la costa esta recarga proviene sólo de la infiltración de agua lluvia. El cambio climático ha afectado ambas, la cantidad de precipitación y la acumulación de agua nieve, afectando la recarga de los acuíferos y por ende los niveles de agua de los pozos y norias.

A lo anterior se agrega la mayor demanda de agua subterránea a través de pozos y punteras principalmente para riego, y otros usos. Según el VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal del año 2007, el área regada en Chile llega a 1.093.813 hectáreas, concentradas principalmente entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos y con más del 50% entre las regiones del Maule a la Araucanía. Esta superficie bajo riego utiliza el 73% del uso de agua consuntivo de Chile y las proyecciones indican que aumentará en un 57%, llegando a 1,7 millones de hectáreas con riego al 2022. (Apey, A. 2012; INE 2007; Comisión Nacional de Riego (CNR) 2011).

A la demanda por agua que ejerce la superficie agrícola bajo riego, se suma la creciente demanda urbana producto de la expansión de las ciudades y poblados, así como la demanda por agua que realizan la industria minera y la de generación eléctrica y sus proyectos de ampliación.



14. - Antuco Rucue





15. - Rucamanqui

### 3. ¿ES VERDAD QUE EL BOSQUE NATIVO PRODUCE AGUA Y LAS PLANTACIONES LA CONSUMEN?

Ningún bosque, sea este nativo o plantado, produce agua; todos los seres vivos, plantas y animales la utilizan para crecer. Existe suficiente evidencia que sugiere que el caudal de una

cuenca cubierta por bosque nativo no difiere de manera relevante de una cuenca similar cubierta por plantaciones forestales. En Chile, lo anterior estaría referido a bosque nativo adulto del tipo siempreverde o dominado por *Nothofagus*, bajo coberturas y escala de tiempo comparables al ciclo de las plantaciones forestales.

De hecho, no es el tipo de bosque (nativo o plantado) o la especie *per se* lo que explica la cantidad de agua en un área, sino más bien las etapas de desarrollo del bosque o plantación, su composición, cobertura y estructura vertical (estratos). Normalmente el bosque nativo es adulto y las plantaciones son jóvenes. (Vertessy, R.A.; Watson, F.G.R.; O'Sullivan, S.K. 2001; Bren, L. J., Lane, P. and McGuire, D. 2006; Kuczera, G. 1987; Calder, I. 2005; Scott and Prinsloo 2008; Iroumé, 2014).

Parte del agua de lluvia, entre un 10 a 30%, puede permanecer y evaporarse en las copas de los árboles sin llegar al suelo, sean estos nativos o plantados. Ésta interceptación puede ser, en la mayoría de los casos, más alta en bosques nativos que en plantaciones de Pino o Eucalipto por efecto de una mayor área foliar, biomasa aérea y existencia de múltiples estratos de vegetación en una misma superficie de suelo.

Por otra parte, el agua que transpiran los árboles durante la fotosíntesis y que luego evaporan desde sus hojas, es en general mayor cuando están en su etapa de máximo crecimiento, por ello hay diferencias entre plantaciones jóvenes y bosque nativo, siendo la transpiración mayor en plantaciones.

Entonces para una misma cantidad de precipitación, el caudal anual promedio de salida en una cuenca pequeña durante un periodo largo de tiempo (una rotación) podría llegar a ser muy similar entre un bosque nativo adulto que tenga una elevada interceptación y una plantación joven de Pino o Eucalipto, que si bien intercepta menos agua, transpira más porque crece a una tasa mayor.

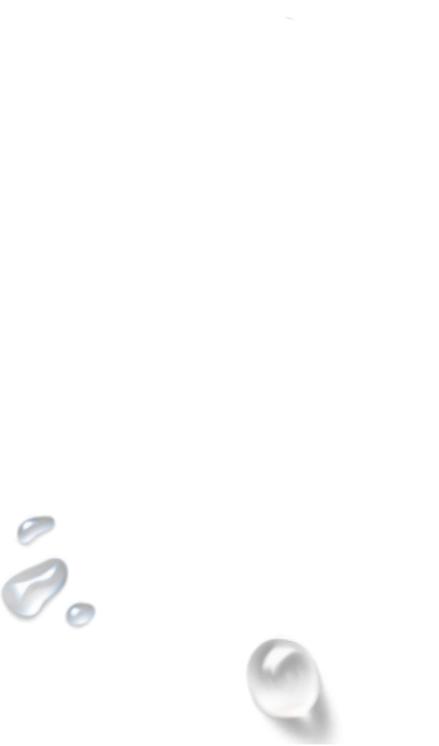
#### 4. ¿QUÉ ESPECIE UTILIZA MÁS AGUA, EL PINO O EL EUCALIPTO? ¿CÓMO SE COMPARAN CON EL CONSUMO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS?

En términos de uso de agua, Pinos y Eucaliptos son especies forestales comparables a cualquier otra. De hecho, en el mundo existen más de 700 especies diferentes de Eucaliptos y 120 especies de Pinos, muchas de ellas cultivadas en varias zonas del planeta, incluyendo ambientes semi-áridos a desérticos.

Estas especies no consumen más agua por unidad de biomasa producida, al compararlas con cualquier otra especie forestal; incluso algunas especies de eucalipto como las que se cultivan en Chile manifiestan una mayor eficiencia en el uso de agua para producir biomasa, pues en algunos sitios pueden producir 2 gramos de biomasa total por litro de agua evapotranspirada y el Pino 1 gramo de biomasa por litro de agua evapotranspirada (Dunin, F.X. and Mackay, S.M. 1982. Albaugh, J.M., Dye, P.J. and King, J.S. 2013, Benyon, R.G., Theiveyanathan, S. and Doody, T.M. 2006). A su vez, Pinos y Eucaliptos son más eficientes en producir madera y biomasa con la misma cantidad de agua que las especies nativas y también que algunos cultivos agrícolas, por lo cual sus productos tienen una menor huella hídrica (Van Oel and Hoekstra 2012) (Fig. 8 y Fig. 15).



16. - Laguna Arco Iris



Cultivo	Consumo de Agua
Papa*	100%
Maíz	90%
Remolacha	65%
Plantación Forestal**	41%

Fig. 8. Consumo de Agua en Cubiertas Agrícolas comparadas con plantación forestal.

\* Referencia Papa 1450 mm Agua/hal/año, \*\*Plantación forestal con incremento anual de 20 m<sup>3</sup>/hal/año (Promedio Pino y Eucalipto) en condiciones típicas del sur de Chile.



17.- Garza Blanca en humedal



Por lo general, el crecimiento inicial del Eucalipto es mayor con respecto a Pino, y por ende, su consumo total de agua es también mayor. Antecedentes de plantaciones en Sudáfrica mencionan consumos de 15 a 30% superiores, para similares condiciones de sitio y edad. Sin embargo el eucalipto puede llegar a producir hasta el doble de biomasa total en igual periodo de tiempo. Lo anterior no significa que reemplazar Eucalipto por Pino aumente la escorrentía en un 15-30%, ya que ambas especies se cosechan en Chile a distintas edades (Eucaliptos a 12 años y Pinos a 24 años). (Albaugh, J.M., Dye, P.J. and King, J.S. 2013, Scott and Prinsloo 2008).

En Chile no existen aún resultados de estudios que comparen el efecto anual de ambas especies en el balance hídrico en micro cuencas a lo largo de toda la rotación forestal. Sin embargo la evidencia disponible de estudios de balance hídrico realizados en algunas micro-cuencas de la región del Biobío y de Los Ríos, respecto del efecto de las plantaciones en la escorrentía, sugiere las siguientes tendencias (Fig.9):

- Una misma especie forestal (ej.: Eucalipto), exhibe coeficientes de escorrentía (relación entre escorrentía/precipitación) distintos dependiendo de las precipitaciones anuales en donde crece (latitud) Estos son mayores en zonas de mayor precipitación (latitud sur en Chile).
- La edad también es un factor importante, disminuyendo el coeficiente de escorrentía a mayor edad de la plantación. En Eucalipto, esto implica mayores caudales durante los primeros 5 años de la plantación (0,2 a 0,65), disminuyendo posteriormente a valores de coeficiente de escorrentía de 0,1 a 0,5 en edades cercanas a la cosecha (12 a 14 años), según latitud.
- En Pino, la información disponible indica que el coeficiente de escorrentía, está en torno a 0,4 ó 0,5 en edades cercanas a la cosecha, en la zona sur.





18.- Río Chaihuín

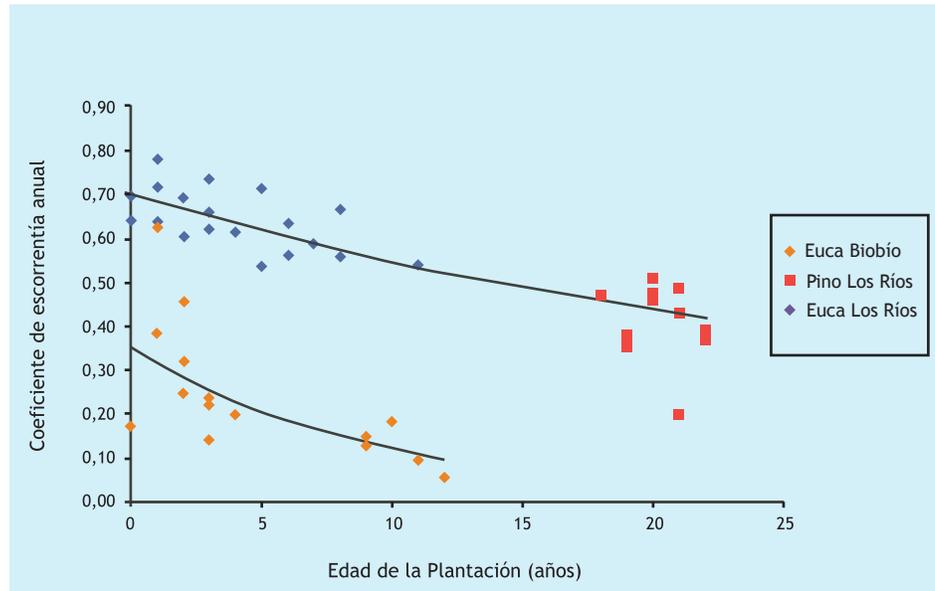


Fig. 9. Comportamiento del coeficiente de escorrentía anual para Pino y Eucalipto, según edad de la plantación y región. Iroumé (2014).

Región de Los Ríos (precipitación. aprox 2000 mm año normal); y Región del Biobío (precipitación. aprox. 1250 mm año normal).



Fig. 10. Plantaciones de Pino y Eucalipto en el Centro Sur de Chile de 2 años de edad, sin haber alcanzado ocupación total del sitio en zonas de alta productividad. Comparación de desarrollo aéreo- foliar (misma edad ambas especies). A. Zapata 2014.



19.- Río Huequecura

## 5. ¿CUÁNTA AGUA CONSUME UN ÁRBOL, Y UNA PERSONA AL DÍA?

Para una condición promedio, un árbol adulto de Eucalipto utiliza del orden de 25-30 litros de agua/día (transpiración),

(Albaugh, J.M., Dye, P.J. and King, J.S. 2013, Dye, P. 1987) mientras una persona consume en términos directos 200 litros de agua/día (lavarse, beber, usar el sanitario, etc.); más los usos indirectos que pueden fluctuar entre 1300-3000 litros de agua por persona-día para nuestro país. Ejemplos de usos indirectos son: (15,500 l de agua para producir 1 kilo de carne, 200 l para producir 1 huevo, 1500 l para producir 1 kilo de azúcar, 2500 l una polera de algodón, 9980 l un par de jeans, etc).



A modo de comparación, una hectárea de arándano regado en la región del Biobío, consume un caudal permanente de 0,36 litros de agua por segundo (1.313 mm) durante 6-7 meses. Esos 0,36 l/seg no consideran el aporte acumulado en el suelo producto de las precipitaciones durante el año (Ej. otros 1250 mm/año normal).

Por su parte, una hectárea de plantación adulta de Pino o Eucalipto, creciendo a un ritmo de 25 m<sup>3</sup> de madera por hectárea al año, y que se ubique en un área geográfica con 1200 mm de precipitación anual, para crecer requiere evapotranspirar un caudal equivalente a 0,3 l/seg (o 960 mm), es decir un 85% del agua que requiere, por ejemplo, el arándano. Este cálculo considera además un 25% de intercepción y un escurrimiento anual de 240 mm.

Este nivel de uso de agua de las plantaciones forestales es enteramente entregado por las precipitaciones, la humedad del suelo, y en algunos sitios complementado por el aporte de aguas subterráneas, sólo si la napa freática es suficientemente superficial para que las raíces accedan a ella.

## 6. ¿CUÁL ES EL EFECTO DE LAS PLANTACIONES EN LA CALIDAD DEL AGUA?

La calidad del agua se puede definir como el nivel de pureza que presenta, y uno de sus indicadores es la turbidez o pérdida

de transparencia por la presencia de partículas en suspensión, siendo éste el atributo del agua más estudiado. A mayor turbidez, menor calidad del agua. Por ende, la erosión del suelo y la llegada

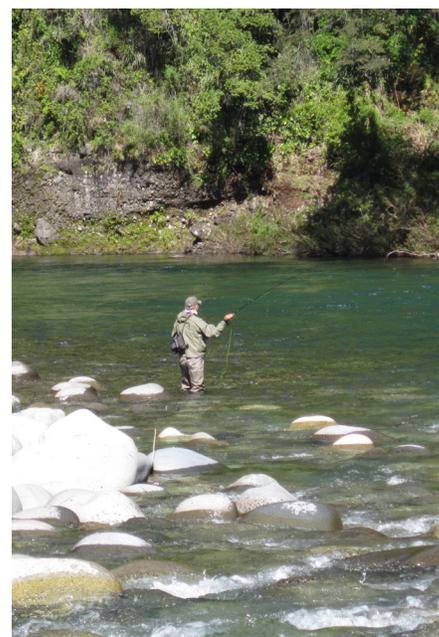
de sedimentos a los ríos y esteros, es una de las fuentes más importantes de pérdida de calidad del agua en una cuenca.

Los bosques son la cubierta de suelo más eficaz para mantener la calidad del agua. Sirven como filtros naturales, pues recogen el agua de lluvia y la liberan lentamente en los cursos de agua (Fig. 11).

En este sentido, las plantaciones forestales tienen un efecto positivo en la calidad del agua si se compara con otros usos del suelo como la agricultura o ganadería, ya que durante toda la rotación forestal (12 años en Eucalipto y 24 años en Pino) el suelo está protegido por los árboles y no se realizan intervenciones que lo alteren. Dentro de estos períodos no sólo mejorará la calidad del agua, por un efecto positivo al controlar la erosión y prevenir la llegada de sedimentos a los esteros, sino también aumenta la sombra y la materia orgánica (hojas caídas, etc.), favoreciendo la retención de humedad.

Al respecto, se ha determinado que la capacidad de infiltración del agua en el suelo es significativamente menor en praderas que en plantaciones de Pino (3 a 99 mm/hora en praderas, versus 121 a 1207 mm/hora en bosques de Pino). Dichos estudios realizados en Nueva Zelanda, sugieren que la conversión de terrenos forestales a uso agrícola pueden resultar en inundaciones eventuales por aumento de caudales punta, erosión y sedimentación (Taylor, M. Mulholland M. and Thornburrow, D. 2009), por ello los bosques favorecen la infiltración de agua por el suelo y la recarga de la napa freática.

A su vez, la adición continua de hojarasca de especies arbóreas, y su transformación por los organismos del suelo (contenido de materia orgánica), restablece la capacidad de autorrecuperación de la arquitectura del suelo y su poder de retención de humedad. Como consecuencia, el suelo puede almacenar más agua y actuar como sumidero de dióxido de carbono.



20.- Río Cholguan





21.- Río Malleco

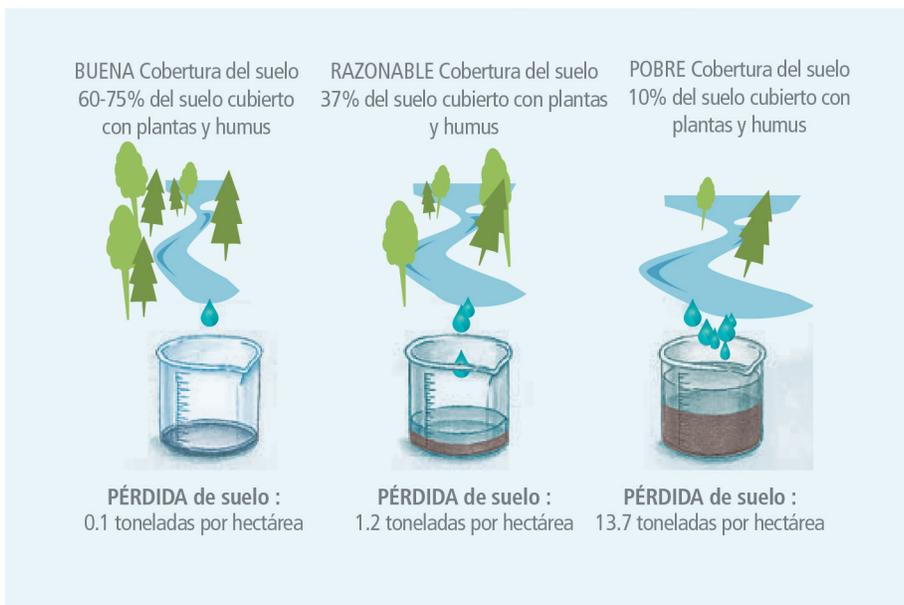


Fig. 11. Efecto de la cobertura de bosque en una cuenca sobre la pérdida de suelo durante eventos de tormenta y erosión (Datos de Great Basin Experimental Area, UT, USA). Fuente : Modificado de Water and the Forest Service, USDA, Washington Office, FS-660, January 2000.

- La Operación forestal y la calidad del agua en zonas con plantaciones de Pino y Eucalipto.

Durante el periodo de crecimiento de Eucaliptos y Pinos, la calidad del agua se ve mejorada debido a las condiciones favorables para la infiltración y menor erosión del suelo respecto a praderas o matorrales. Sin embargo, en algunos casos en que no se apliquen prácticas de Manejo Forestal Sustentable, es posible que durante la construcción de caminos y la cosecha, ocurra algún deterioro de la calidad del agua por mayor sedimentación.

Cada 24 años en Pino y cada 12 en Eucalipto, se construyen o habi-



litan caminos para la cosecha final, y si la cantidad y el estándar de éstos no es el apropiado, pueden generarse aumentos en la cantidad de sedimentos que llegan a los cauces.

La literatura indica que los caminos forestales han sido identificados como los que más pueden contribuir a la erosión, producción de sedimentos y sedimentación de cauces en tierras forestadas, contabilizando hasta un 90% de todos los sedimentos producidos. Las tasas de generación de sedimentos son afectadas por múltiples factores como geología, topografía, estación del año, tránsito, entre otros.

En las empresas forestales chilenas que aplican Manejo Forestal Sustentable, éstos son temas en permanente revisión para mejora continua y sujetos a monitoreo por parte de entes certificadores según se define en los manuales de buenas prácticas de cosecha. Medidas como el ordenamiento de desechos y fajeo en curvas de nivel, el resguardo de las zonas de protección de cursos de agua, la planificación de cosechas de verano e invierno, protección de vegetación de riberas que filtran sedimentos, entre otras, son ejemplos de buenas prácticas forestales que contribuyen a mantener y proteger la calidad del agua.

### Carga de agroquímicos

Otra fuente de pérdida de calidad del agua es la polución con nitrógeno y fósforo, que puede tener como origen el excesivo uso de fertilizantes. Éstos afectan fundamentalmente la calidad del agua, acelerando los procesos de eutroficación del agua dulce y de los ecosistemas marinos. Los pesticidas como los fungicidas, herbicidas e insecticidas son también causantes de contaminación del agua, pues son micro-contaminantes tal como los productos farmacéuticos y otros.

Al respecto, la actividad forestal, a diferencia de la agrícola, es de muy baja aplicación de productos químicos. El sector forestal aplica sólo fertilizantes y herbicidas en muy bajas dosis, 1 a 2 veces



22.- Rucamanqui





23.- Río Huequecura



cada 12 años en Eucalipto y 1 a 2 veces cada 24 años en Pino, en comparación con la agricultura, que realiza aplicaciones anuales con altas dosis de fungicidas e insecticidas, los cuales no son utilizados en las plantaciones forestales. Los agroquímicos utilizados en las plantaciones están controlados por entidades como SAG Y CONAF a nivel de autoridad. Adicionalmente un 70% de plantaciones forestales certificadas por Manejo Forestal Sustentable en Chile, son controladas por auditores externos nacionales e internacionales que certifican manejo forestal sustentable, incluyendo el uso de agroquímicos aprobados por estos estándares internacionales.

Respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo en cuencas con elevado uso de fertilizantes agrícolas, éstos son reducidos gracias a las plantaciones forestales. Los eucaliptos utilizan menos nutrientes que otros cultivos, aproximadamente 30 a 50% menos que las plantas anuales y 50% menos que los árboles frutales.

## **7. ¿QUÉ MEDIDAS CONTRIBUYEN A MEJORAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN UNA MICROCUENCA DE APTITUD FORESTAL?**

Existen varias prácticas de manejo forestal que contribuyen a mejorar la cantidad y calidad del agua.

Respecto a la calidad, las franjas o zonas de protección de cauces permiten atrapar sedimentos y evitar que éstos alcancen los cauces. Estas zonas son áreas adyacentes a un cauce o humedal, con reconocida fragilidad biológica y física, que sirven para atenuar impactos generados por actividades en las laderas del cauce. Su función es ayudar a mantener la integridad hidrológica y ecológica del cauce, fauna, suelo y vegetación asociada. Por ley, en nuestro país existe un sistema de protección en estas zonas, conservando un ancho variable de resguardo en torno al cauce, basado en las condiciones específicas del sitio: composición, edad y condición de la vegetación; geomorfología del sitio; especies; animales y plantas presentes en el sitio; hidrología de la cuenca; uso del terreno adyacente, susceptibilidad del sitio a la degradación; entre otros criterios.

Así, las zonas de protección son efectivas para el control de sedimentos con origen laminar y flujos menores. Estudios en Chile indican que los primeros 10 m a ambos lados del cauce atrapan entre 72-93% de los sedimentos dependiendo del tipo de suelo y pendiente (Gayoso, J. and Iroumé, A. 1995; Gayoso and Gayoso 2003).

El diseño apropiado de las zonas de protección puede contribuir significativamente al mantenimiento del hábitat acuático y ribereño, control de sedimentos, control de contaminación, apoyo al paisaje, recreación, etc.

Estas zonas de protección están legalmente protegidas y son permanentemente monitoreadas por las empresas y los auditores de entidades de certificación de Manejo Forestal Sustentable.

Otra medida es el uso controlado y exclusivo de herbicidas autorizados por estándares internacionales de Manejo Forestal Sustentable, los cuales excluyen en forma absoluta herbicidas que pudiesen tener un impacto negativo en el ambiente.

Asimismo, buenas prácticas de cosecha y construcción de caminos, son también validadas por estándares internacionales de Manejo Forestal Sustentable.

Otras prácticas como privilegiar el plantar en zonas altas de las cuencas y mantener mosaicos de edades se han mencionado como alternativas pero su efectividad no han sido aún probadas en Chile.

Los raleos forestales también contribuirían a aumentar la escorrentía, en especial para el caso de Pino, especie en que esta práctica se aplica frecuentemente. Por tanto, los mosaicos de edades y especies pueden incluir también mosaicos de manejo.



24.- Central Angostura, Biobío





25.- Melipeuco

## 8. HE ESCUCHADO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y ME PREOCUPA NO SABER SI DISPONDRÉ DE SUFICIENTE AGUA EN EL FUTURO

Se estima que el cambio climático global provocará gradualmente que las condiciones de aridez se extiendan y que los eventos de El Niño y la

Niña ocurran más seguidos y sean más fuertes. En Sudamérica las proyecciones de escenarios de cambio climático revelan comportamientos latitudinales diferentes respecto a los regímenes hidrológicos y térmicos (Fig. 12), y en Chile se esperan lluvias más intensas, más concentradas en el año y alternancia con períodos de sequía más prolongados.

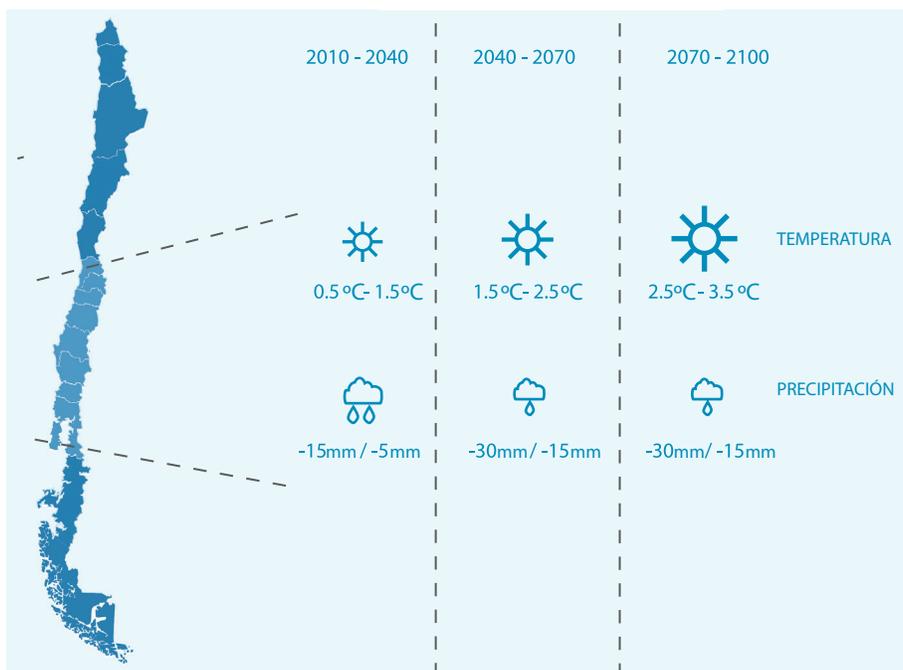


Fig. 12. Efectos Potenciales del Cambio Climático en Chile.  
Fuente : Modificado de CEPAL, 2009.

En la distribución norte de la macrozona forestal, se estima que podrán existir problemas de escasez hídrica, por lo cual se debe mejorar la gestión del agua disponible y los expertos recomiendan incrementar, por ejemplo, las prácticas de colecta de aguas lluvia. Como recomendación general para viviendas rurales en la macrozona forestal, se debe considerar que:



En zonas cuya precipitación es menor a 1000 mm promedio anual, debe mejorarse la captación de agua. Si la precipitación promedio anual es de 900-1000 mm, habrá problemas de abastecimiento en años secos y por tanto sería recomendable mejorar la captación de agua.

En ciertos casos, pueden existir problemas de abastecimiento rural por falta de inversión en captaciones, sistemas de distribución y control de pérdidas, entre otros.

La mayor cobertura de proyectos de agua potable rural, La profundización de pozos y la acumulación de aguas lluvia en invierno para uso doméstico en verano, son ejemplos de soluciones a este tipo de problema y que requieren de ir fomentando una cultura de gestión y uso eficiente del agua disponible.



26.- Río Laja



### 9. ¿QUÉ EFECTOS POSITIVOS TIENEN LAS PLANTACIONES EN RELACIÓN AL AGUA?

Las plantaciones forestales, así como la agricultura, hacen uso productivo del agua en nuestro país. Otros tipos de uso de suelo

han aumentado la demanda de agua: el uso de riego en cultivos, demanda urbana, industrial, energía y varias otras actividades que utilizan agua a una tasa creciente.

Las especies forestales utilizadas en plantaciones deben sobrevivir y crecer a tasas que justifiquen la sustentabilidad económica.

De lo contrario, el rol que se espera de los árboles en la captura de





27. - Puente Las Basas  
Rio Huequecura



carbono, los flujos hídricos y minerales, y la mejora de biodiversidad, no se cumplirán.

Respecto al agua, las plantaciones forestales cuando se comparan con praderas, reducen los máximos de escorrentía durante las tormentas que producen inundaciones. Este efecto sobre los caudales máximos permite también disminuir daños al paisaje, la erosión y sedimentación; beneficiando tanto a los propietarios de tierras y a los usuarios de agua, río abajo. Durante tormentas más pequeñas, el aumento abrupto de caudal también se ve amortiguado por la cobertura forestal, lo que resulta en menor arrastre de sedimentos, protegiendo el hábitat acuático.

En terrenos descubiertos, el agua de lluvia escurre rápidamente hacia las partes bajas, arrastrando el suelo y produciendo un efecto erosivo que puede generar pérdidas de materia orgánica y disminuir el potencial productivo de los suelos (Fig. 13).



Fig. 13. Signos de inicio de erosión del suelo en sectores con pendiente en la Región del Biobío. Foto : J, Rodríguez SCh. (2014).



En una plantación forestal, aproximadamente un 70% a 80% del agua de las lluvias llega al suelo y su acción erosiva se ve disminuída gracias al efecto amortiguador de los árboles y su follaje, el fuste y por la cubierta de hojarasca sobre el suelo. El suelo en las plantaciones forestales posee mejor estructura y porosidad, que praderas (o terrenos descubiertos), por lo cual el agua infiltra más rápido y las raíces actúan como micro canales de infiltración, aumentando la percolación hacia las napas freáticas.

Adicionalmente, las cubiertas forestadas aumentan la estabilidad de las pendientes y reducen el riesgo de deslizamiento de tierras y sus raíces actúan como elementos mecánicos de sujeción y restauración en lugares afectados por deslizamientos de suelos (Fig 14).

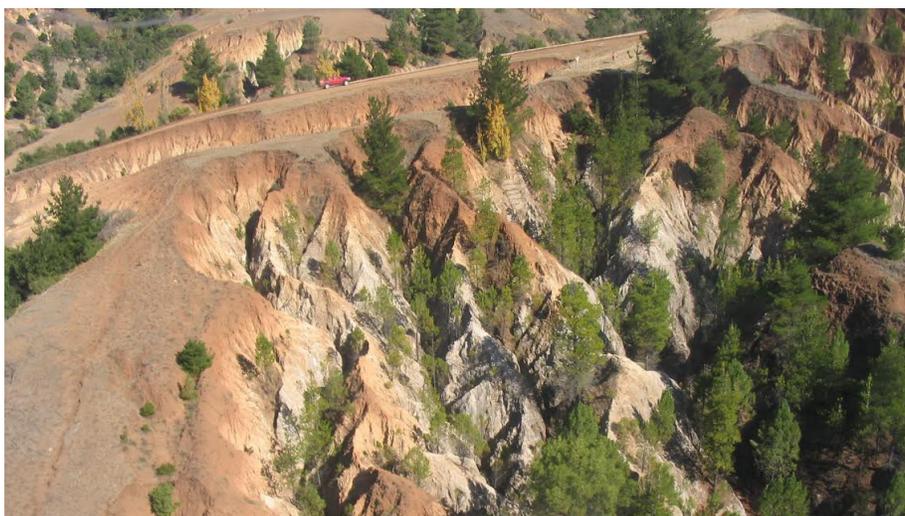
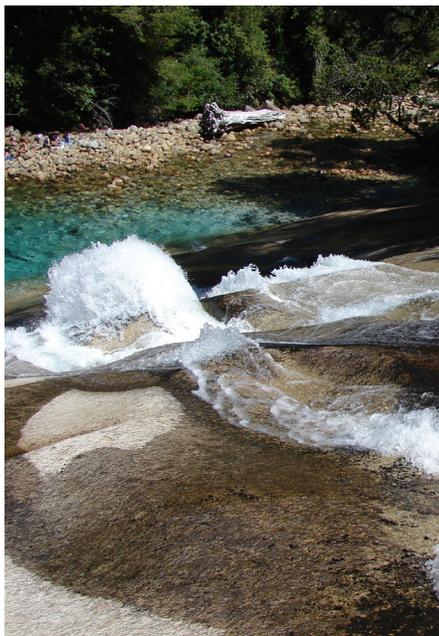


Fig. 14. Suelos severamente erosionados que pueden recuperarse mediante el establecimiento de plantaciones forestales, región del Biobío. Foto : J. Rodríguez Sch. (2014).



28. - Lago Cayutue, Ralún





29.- Río Cochamó

En Chile, las plantaciones de Pino y Eucalipto proveen el 98% de la madera que se usa en nuestro país para manufactura de productos para construcción, papel y otros usos. Muchos de estos productos son procesados localmente y las empresas forestales son los mayores empleadores de mano de obra en varias comunas del país. En Chile el sector forestal genera empleo directo para cerca de 120 mil personas y 180 mil empleos indirectos (Total 300.000 empleos).

El CO<sub>2</sub> capturado por las plantaciones de Pino y Eucalipto equivale aproximadamente al 30% de las emisiones totales que se producen anualmente en nuestro país, mitigando el cambio climático y la acumulación de gases de efecto invernadero. Éstas contribuyen también a mejorar la calidad del aire gracias a la liberación de oxígeno a la atmósfera. Son por tanto más eficientes en la captura de Carbono como en la eficiencia de uso de agua en comparación con otros cultivos como el trigo o el maíz (Fig. 15).

Tipo de fibra vegetal cultivada sin riego	Agua (Ton agua / Ton de CO <sub>2</sub> absorbida)	CO <sub>2</sub> (Ton CO <sub>2</sub> absorbida / ha /año)
Eucalipto (Sudáfrica)	274	26,9
Algodón	4.866	2,5
Maíz	3.943	6,8
Trigo	4.776	5,1
Caña de Azúcar	3.152	2,2

**Eficiencia del Uso del Agua y Absorción de CO<sub>2</sub>**

Fig. 15. Eficiencia de Uso de Agua y Absorción de CO<sub>2</sub> de plantaciones de Eucalipto versus otros cultivos en Sudáfrica. Fuente : Sappi Sustainability Report 2012.

Chile cuenta con una superficie de plantación superior a 2,4 millones de hectáreas (3% de la superficie nacional total), gestionadas de acuerdo con la legislación vigente.

A su vez, las áreas de bosques de alto valor de conservación y la fauna nativa están protegidas por el Estado y también se promueve su mantención y mejora en los principios y criterios de estándares internacionales de manejo forestal sustentable.

Adicionalmente hasta el 2013, existían en Chile 21 empresas forestales certificadas por FSC (Forest Stewardship Council), totalizando 1,55 millones de has de plantaciones en Chile; vale decir, cerca del 70% de plantaciones forestales en nuestro país ha certificado su Manejo Forestal Sustentable bajo el estándar internacional FSC.

Las plantaciones están certificadas además por CERTFOR, homologado por el estándar internacional PEFC (Program of endorsement for forest certification) que es el sistema que tiene a nivel nacional más superficie acreditada por Manejo Forestal Sustentable: cerca de 1,95 millones de hectáreas, que equivalente a 82% del área total de plantaciones en Chile.

Ambos estándares avalan el progreso del sector hacia una actividad cada día más sustentable en sus ámbitos social y ambiental.



30.- Rucamanqui



"El agua es el elemento y principio de las cosas" (Tales de Mileto, 625 al 547 a.c.)

## BIBLIOGRAFÍA:

Fig. 1.- Water facts and Trends. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) Water and Sustainable Development Program. [www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org) [www.earthprint.com](http://www.earthprint.com)

Fig. 2. Distribución de los Usos Consuntivos del Agua 2010 (MOP 2013). Chile cuida su Agua. 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. [http://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf). [Elaboración propia a partir de Ayala, L. (2010).]

Fig. 3.- Recursos disponibles y extracciones por usos consuntivos según región (Banco Mundial 2011). Banco Mundial, 2011. Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe.

Fig. 4.- Comparación de componentes del balance hídrico entre pradera natural y plantación de eucalipto, zona Collipulli. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Huber y Trecaman (1999). Huber, A. y Trecaman, R. 1999. Consecuencias de las plantaciones forestales sobre la disponibilidad del recurso hídrico en suelos rojos arcillosos de la zona de collipulli, ix region, chile. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE: Agua y Medio Ambiente.

Fig. 5. Relación entre precipitación media anual y evapotranspiración anual de plantación forestal y pradera. (Zhang et al. 2001). Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. (2001) Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37, 701-708.

Fig. 6. Variabilidad interanual de las precipitaciones en 4 ciudades de la Región del Biobío, Chile. Durán A. Coordinador Región del Biobío del Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos. Política y plan de acción para los recursos hídricos. Gobierno

de Chile. Chillán, 5 Julio de 2014.

Fig. 7. Cambios en el nivel de la isoterma 0, debido al aumento en la temperatura de la alta cordillera de Los Andes, Chile Central. Fuente: Fernando Santibáñez. II Congreso Nacional de Recursos Hídricos, Temuco (2013).

Fig. 8. Consumo de Agua en Cubiertas Agrícolas comparadas con plantación forestal. Modificado de Raga, F. (2013). Presentación Agua y Plantaciones Visión de Corma. "Hacia un Programa de Monitoreo de los Recursos Hídricos Asociados a las Plantaciones Forestales en Chile". Fernando Raga C. Presidente. Corporación Chilena de la Madera. Agosto, 2013.

Fig. 9. Comportamiento del coeficiente de escorrentía anual para Pino y Eucalipto, según edad de la plantación y región. Iroumé, A. (2014). Brechas y generación de Futuro Conocimiento sobre Bosques, Operaciones Forestales y Recursos Hídricos. 2014, informe en preparación.

Fig. 11. Efecto de la cobertura de bosque en una cuenca sobre la pérdida de suelo durante eventos de tormenta y erosión (Datos de Great Basin Experimental Area, UT, USA). Fuente : Modificado de Water and the Forest Service, USDA, Washington Office, FS-660, January 2000. [http://www.stream.fs.fed.us/publications/PDFs/Water\\_and\\_FS.pdf](http://www.stream.fs.fed.us/publications/PDFs/Water_and_FS.pdf)

Fig. 12. Efectos Potenciales del Cambio Climático en Sudamérica. Fuente : Modificado de CEPAL, 2009. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), 2009. La Economía del Cambio Climático en Chile. Síntesis. Santiago de Chile: CEPAL, Colección Documentos de Proyectos.

Fig. 15. Eficiencia de Uso de Agua y Absorción de CO<sub>2</sub> de plantaciones de Eucalipto versus otros cultivos en Sudáfrica. Fuente : Sappi Sustainability Report 2012. Sappi 2012. Sappi Group Sustainability Report. Sappi Limited. Version 07, 23 September 2013. <http://www.sappi.com/group/Sustainability/2012%20Sappi%20>

Albaugh, J.M., Dye, P.J. and King, J.S. (2013). Eucalyptus and Water Use in South Africa. *Int. Jour. For. Res.* Vol. 2013, Article ID 852540, pp. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/852540>.

Apey, A. (2012). Cambios territoriales y tecnológicos en el riego agrícola en Chile entre los años 1997 y 2007. Septiembre de 2012. Oficina de estudios y políticas agrarias. [www.odepa.gob.cl](http://www.odepa.gob.cl)

Benyon, R.G., Theiveyanathan, S. and Doody, T.M. 2006. Impacts of tree plantations on groundwater in south-eastern Australia. *Australian Journal of Botany*, 2006, 54, 181-192.

Bevilacqua, R. (2014) en *Diario La Tercera*. Sequía en Chile: los grandes efectos de la desertización en la flora y fauna. Por Romina Bevilacqua - 05/06/2014 - <http://www.latercera.com/noticia/nacional/2014/06/680-581187-9-sequia-en-chile-los-grandes-efectos-de-la-desertizacion-en-la-flora-y-fauna.shtml>

Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.*, 55 (1982) 3–23.

Bren, L. J., Lane, P. and McGuire, D. 2006. An empirical, comparative model of changes in annual water yield associated with pine plantations in southern Australia. *Australian Forestry* 69 (275-284).

Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., and Vertessy, R. A. (2005) : A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation, *J. Hydrol.*, 310, 28-61, 2005.

Calder, I. (2005). *Blue revolution: integrated land and water resources management*. Oxford: Earthscan Press.

Carrasco, J., Casassa, G. y Quintana, J. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century / Changements de l'isotherme 0°C et de la ligne d'équilibre des neiges dans le Chili central durant le dernier quart du 20ème siècle, *Hydrological Sciences Journal*, 50:6, -948, DOI: 10.1623/hysj.2005.50.6.933

Carrasco, J., Osorio, R. y Casassa, G. (2008). Secular Trend of the Equilibrium Line Altitude in the Western Side of the Southern Andes Derived from Radiosonde and Surface Observations, pp. 1-21, 54, 538-550.

Comisión Nacional de Riego (CNR)., 2011. Política Nacional de Riego, una Mirada a largo plazo. Power Point Presentation. Available at: [http://aquasec.org/wp-content/uploads/2012/03/02\\_seminario-seguridad-h%C3%ADdrica.pdf](http://aquasec.org/wp-content/uploads/2012/03/02_seminario-seguridad-h%C3%ADdrica.pdf) (Accessed July 2013). Dunin, F.X. and Mackay, S.M. (1982). Evaporation by eucalypt and coniferous plant communities. The First National Symposium on Forest Hydrology, 1982. Melbourne, 11-13 May. The Institution of Engineers, Australia. Preprints of Papers. pp 18-25.

Dye, P. (1987). Estimating water use by *Eucalyptus grandis* with the Penman-Monteith equation. *Forest Hydrology and Watershed Management - Hydrologie Forestiere et Amenagement des Bassins Hydrologiques* (proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987, Actes du Colloque de Vancouver, Aout 1987):IAHS-AISH Publ.no.167,1987.

Gayoso, J. e Iroumé, A. (1995). Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *BOSQUE* 16(2): 3-12, 1995.

Gayoso, J. y Gayoso, S. (2003) Diseño de zonas ribereñas requerimiento de un ancho mínimo. Informe preparado para Forestal Los Lagos S.A. Programa de producción forestal y medio ambiente. Universidad Austral de Chile. [http://www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/guias%20y%20manualesguias\\_proforma/Diseño\\_de\\_zonas\\_riberenas.pdf](http://www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/guias%20y%20manualesguias_proforma/Diseño_de_zonas_riberenas.pdf). 12 p.

Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R. 1967: Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In Sopper, W.E. and Lull, H.W., editors, Forest hydrology, New York Pergamon Press, 275-90.90. PROC NAT SCI FOUNDD ADV SCI SEMINAR Penn State Uni v 8/29 - 9/10, 1965. Pergamon Press-Oxford & N. Y. - 1966. Revisited DOI: 10.1177/0309133309338118 [www.sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav](http://www.sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav)

Holmes, J.W. and Sinclair, J.A. (1986). Water yield from some afforested catchments in Victoria. Hydrology and Water Resources Symposium, Griffith University, Brisbane, 25-27 November 1986. The Institution of Engineers, Australia. Preprints of papers, pp. 214-218.

Huber, A. y Trecaman, R. 1999. Consecuencias de las plantaciones forestales sobre la disponibilidad del recurso hídrico en suelos rojos arcillosos de la zona de collipulli, ix region, chile. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE: Agua y Medio Ambiente.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2007). Censo Agrícola. Santiago, Chile. Available at [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/censos\\_agropecuarios/censo\\_agropecuario\\_07.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07.php)

Iroumé, A. (2014). Brechas y generación de Futuro Conocimiento sobre Bosques, Operaciones Forestales y Recursos Hídricos. 2014, informe en preparación.

Iroumé, A. (2014) Monitoreo del recurso hídrico en el sector forestal : Investigación, Desarrollo e Innovación. Seminario Internacional INFOR, Valdivia, Noviembre 2014.

Iroumé, A. and Palacios, H. (2013). Afforestation and changes in forest composition affect runoff in large river basins with pluvial regime and Mediterranean climate, Chile. Journal of Hydrology Volume 505, 15 November 2013, Pages 113-125.

Jofré, P., Büchner, C., Ipinza R., Bahamondez, C., Barros, S., García, P., Cabrera, J. (2013) ESTADO DEL ARTE LAS PLANTACIONES FORESTALES Y EL AGUA. Primera Edición. Edited by INFOR, 12/2013; INFOR - FIA., ISBN: 978-956-318-088-6.

Keenan, R., Parsons, M., Gerrand, A., O'Loughlin, E., Beavis, S., Gunawardana, D., Gavran, M. and Bugg, A. (2004). Plantations and Water use: A Review Prepared for Forest and Wood Products Research and Development Corporation by Bureau of Rural Sciences. Forest and Wood Products Research and Development Corporation: Canberra. 101 p.

Kuczera, George (1987). Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalypt forest. 1987. Journal of Hydrology, 94: 215-236.

McGuire D. and Bren, L. (2013) The curse of the curves: misuse of simple hydrologic models in forestry. The curse of the curves: misuse of simple hydrologic models in forestry. 176. Presented at IFA National Conference: Managing our Forests into the 21st Century, Canberra 2013.

O'Loughlin, E. and Nambiar, E. K. S. 2001. Plantations, farm forestry and water: a discussion Paper. Water and Salinity. Issues in Agroforestry No. 8. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra. <http://www.fao.org/forestry/5864-0690f7cf152177f8518aef575aad3341d.pdf>.

Oyarzún, C. y Huber, A. (1999). Balance Hídrico en Plantaciones Jóvenes de Eucalyptus Globulus y Pinus Radiata En El Sur De Chile. Water Balance in Young Plantations of Eucalyptus globulus and Pinus radiata in Southern Chile. Terra Vol. 17 Nro. 1. 1999.

Pizarro, R.; Sanguenza, C.; Pino, J.; Iroumé, A. y González V. 2014. Estudio de análisis temporal y espacial de la producción de agua superficial en sub sub cuencas con aprovechamiento humano, en las regiones del Maule, Biobío y la Araucanía, y su relación con el uso actual del suelo. U. de Talca, Universidad Austral, Proyecto CONAF- Universidad de Talca, Informe Final 80 p y anexos.

Polglase, P. and Benyon, R. (2008). The impacts of plantations and native forests on water security: review and scientific assessment of regional issues and research needs. Forest and Wood Products Australia Limited.

Quintana J. y Aceituno, P. (2006). Trends and Interdecadal variability of rainfall in Chile. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brasil, 24-28 Abril, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Quintana, J., 2004: Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. Tesis de Magíster en Geofísica, Universidad de Chile, 2004.

Rivera, D. (2014) en Diario La Discusión, 13 de Enero de 2014. Diego Rivera, Universidad de Concepción, Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

Santibáñez, F. (2008). Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de Cambio Climático. Centro AGRIMED. Universidad de Chile. Fernando Santibáñez Quezada, Ing. Agrónomo, Dr. (Responsable Principal), Paula Santibáñez Varnero, Ing. Civil. Dr (c) Loreto Solis, Ing. Civil. Gobierno de Chile, CONAMA, ODEPA, FIA.

Scott, D. F., and F. W. Prinsloo (2008), Longer-term effects of pine and eucalypt plantations on streamflow, Water Resour. Res., 44, W00A08, doi:10.1029/2007WR006781.

Taylor, M., Mulholland, M. and Thornburrow, D. 2009. Infiltration Characteristics of Soils under Forestry and Agriculture in the Upper Waikato Catchment. Technical Report, 2009/18. pp 18.

Van Oel, P.R. and Hoekstra, A.Y. (2012) Towards quantification of the water footprint of paper: A first estimate of its consumptive component, Water Resources Management, 26(3): 733-749.

Vertessy, R.A.; Watson, F.G.R.; O'Sullivan, S.K.(2001) Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. 2001. Forest Ecology and Management, 143: 13-26.

Zhang, L.; Zhao, F.F.; Chen, Y.; Dixon, R.N.M. (2011). Estimating effects of plantation expansion and

climate variability on streamflow for catchments in Australia. *Water Resour. Res.* 2011, 47, W12539. DOI: 10.1029/2011WR010711, 2011.

Zhang, L., Dowling, T. Hocking, M., Morris, J., Adams, G., Hickel, K., Best, A. and Vertessy, R. (2003). Predicting the Effects of Large-Scale afforestation on Annual Flow Regime and Water Allocation: An Example for the Goulburn-Broken Catchments, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Technical Report, 03/5. Monash University, Victoria, Australia. <http://www.catchment.crc.org.au/archive/pubs/1000121.html>

Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. (2001) Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37, 701-708.

Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R. (1999). Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance, CRC for Catchment Hydrology Technical Report 99/12. <http://www.ewater.com.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199912.pdf>



## COMITÉ DE AGUA DE CORMA

### Material fotográfico

Por su aporte, nuestros agradecimientos a:

Archivo CMPC. 1, 2, 4.

Señor Christian Quintana 3, 8.

Señor Jaime Rodríguez Sch. Portada, Contraportada, 5, 6, 11, 12, 17, 18, 21, 28, 29. Fig. 13, Fig 14.

Señor Luis de Ferrari 7, 15

Señora Rebeca Sanhueza H. 9, 10, 13, 22, 24, 30.

Señor Jaime Espejo H. 14, 16, 25.

Señor Juan Carlos Valencia B. 19, 23, 27.

Señor Carlos Villagra R. 20.

Señor Sergio Sanhueza M. 26.

Señor Alvaro Zapata Fig. 10.



[www.corma.cl](http://www.corma.cl)