

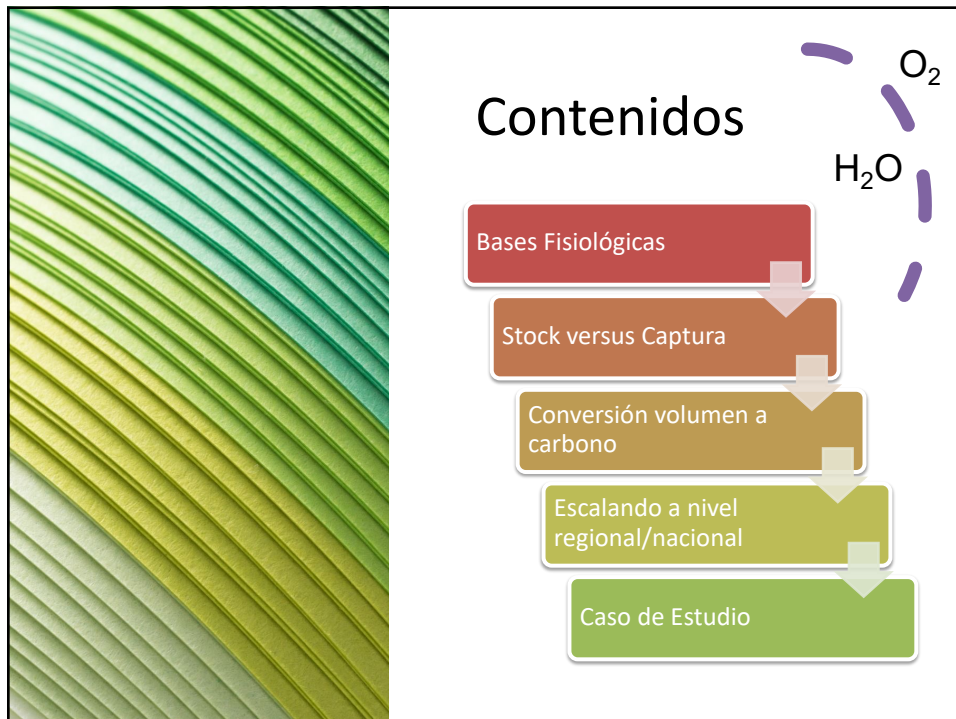


## “Bases para comprender y estimar la captura de carbono en bosques”



Horacio Bown

1



2

## Bases Fisiológicas

3

## Photosynthesis

Photo      Synthesis

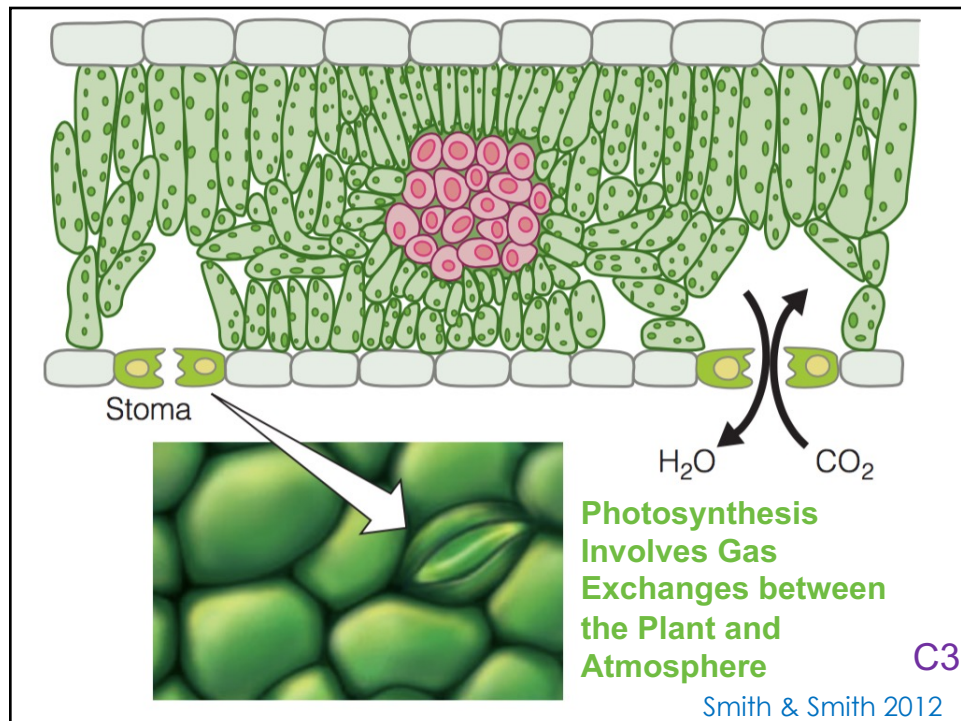
Light      Dark

Chemical      Calvin  
Energy      Cycle

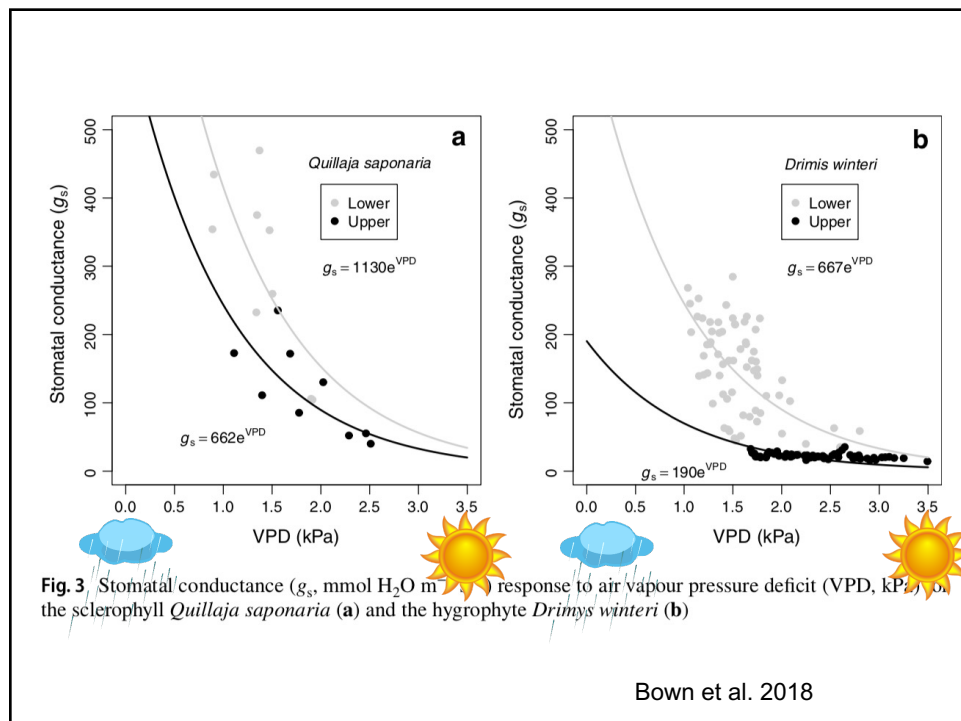
ATP  
NADPH

$\text{RuBP(5C)} + \text{CO}_2$   
→ 2 3C-molecules  
Catalized by  
Rubisco

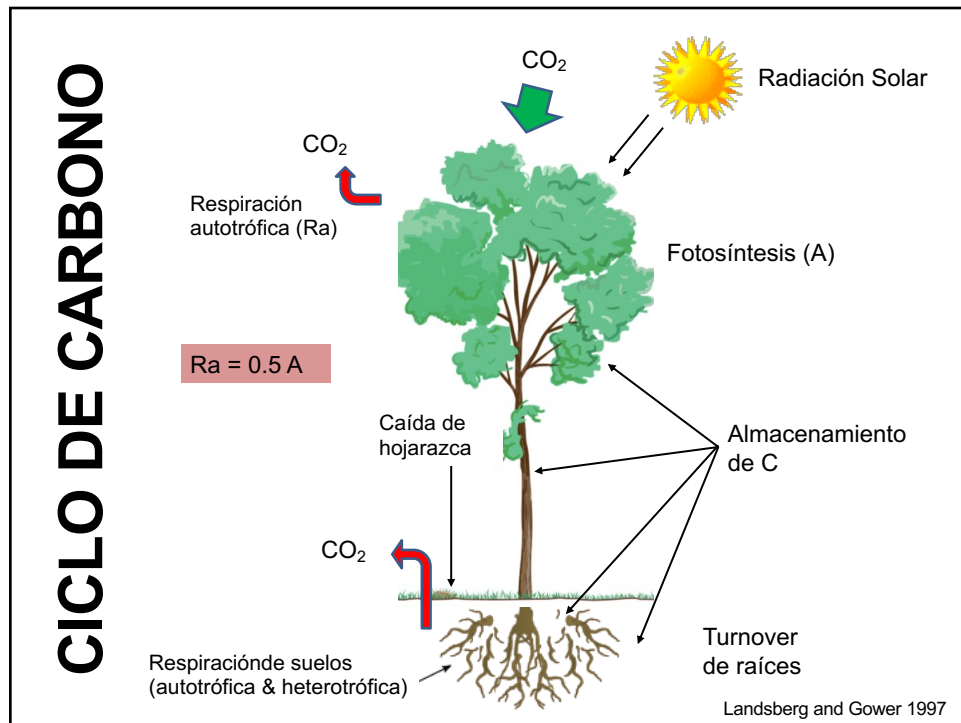
4



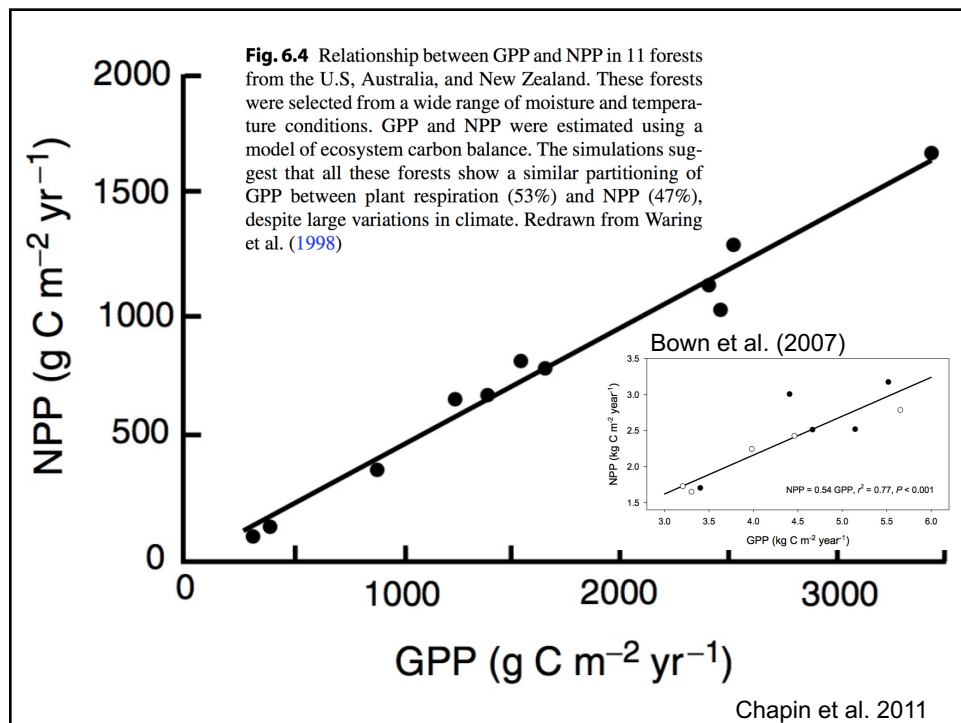
5



6



7



8



9



10



11



12



13

| •                                  | Chemical   | Atomic | Ionic forms                                                                | Approximate dry |
|------------------------------------|------------|--------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| •                                  | Element    | symbol | weight Absorbed by plants                                                  | concentration   |
| • <b>Macronutrients</b>            |            |        |                                                                            |                 |
|                                    | Nitrogen   | N      | 14.01 $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$                                    | 2.0 %           |
|                                    | Phosphorus | P      | 30.98 $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ | 0.2 %           |
|                                    | Potassium  | K      | 39.10 $\text{K}^+$                                                         | 1.0 %           |
|                                    | Magnesium  | Mg     | 24.32 $\text{Mg}^{2+}$                                                     | 0.5 %           |
|                                    | Sulfur     | S      | 32.07 $\text{SO}_4^{2-}$                                                   | 0.5 %           |
|                                    | Calcium    | Ca     | 40.08 $\text{Ca}^{2+}$                                                     | 1.0 %           |
| • <b>Micronutrients</b>            |            |        |                                                                            |                 |
|                                    | Iron       | Fe     | 55.85 $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$                                  | 200 ppm         |
|                                    | Manganese  | Mn     | 54.94 $\text{Mn}^{2+}$                                                     | 200 ppm         |
|                                    | Zinc       | Zn     | 65.38 $\text{Zn}^{2+}$                                                     | 30 ppm          |
|                                    | Copper     | Cu     | 63.54 $\text{Cu}_2^+$                                                      | 10 ppm          |
|                                    | Boron      | B      | 10.82 $\text{BO}_3^{2-}$ , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$                     | 60 ppm          |
|                                    | Molybdenum | Mo     | 95.95 $\text{MoO}_4^{2-}$                                                  | 2 ppm           |
|                                    | Chlorine   | Cl     | 35.46 $\text{Cl}^-$                                                        | 3000 ppm        |
| • <b>Essential But Not Applied</b> |            |        |                                                                            |                 |
|                                    | Carbon     | C      | 12.01 $\text{CO}_2$                                                        | 50%             |
|                                    | Hydrogen   | H      | 1.01 $\text{H}_2\text{O}$                                                  | 6 %             |
|                                    | Oxygen     | O      | 16.00 $\text{O}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$                                  | 40 %            |

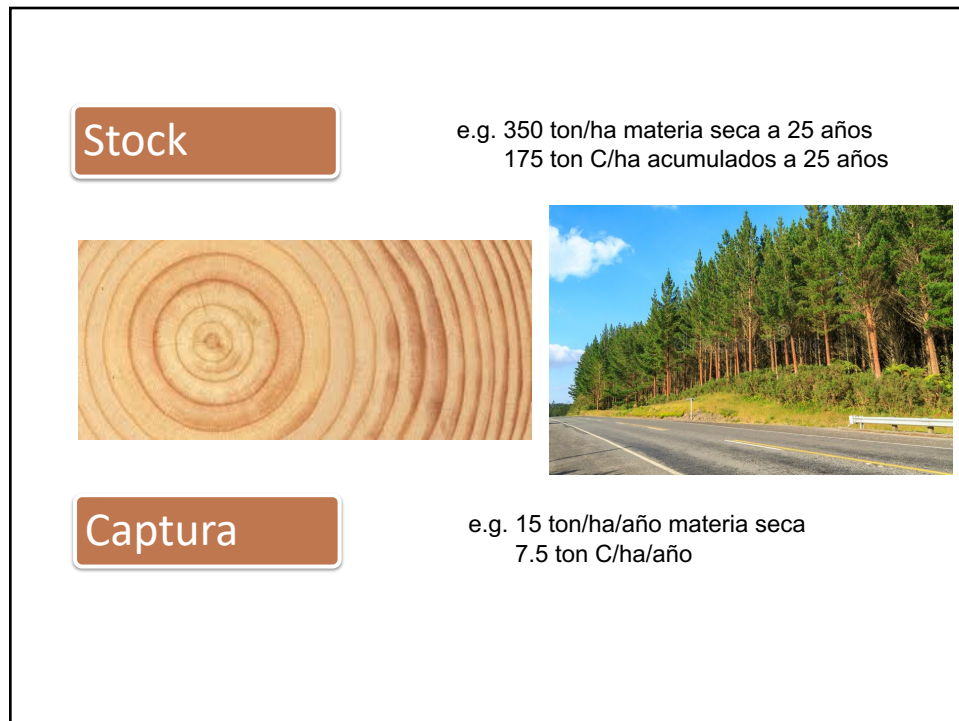
14

A mayor crecimiento en  
biomasa mayor captura de  
carbono

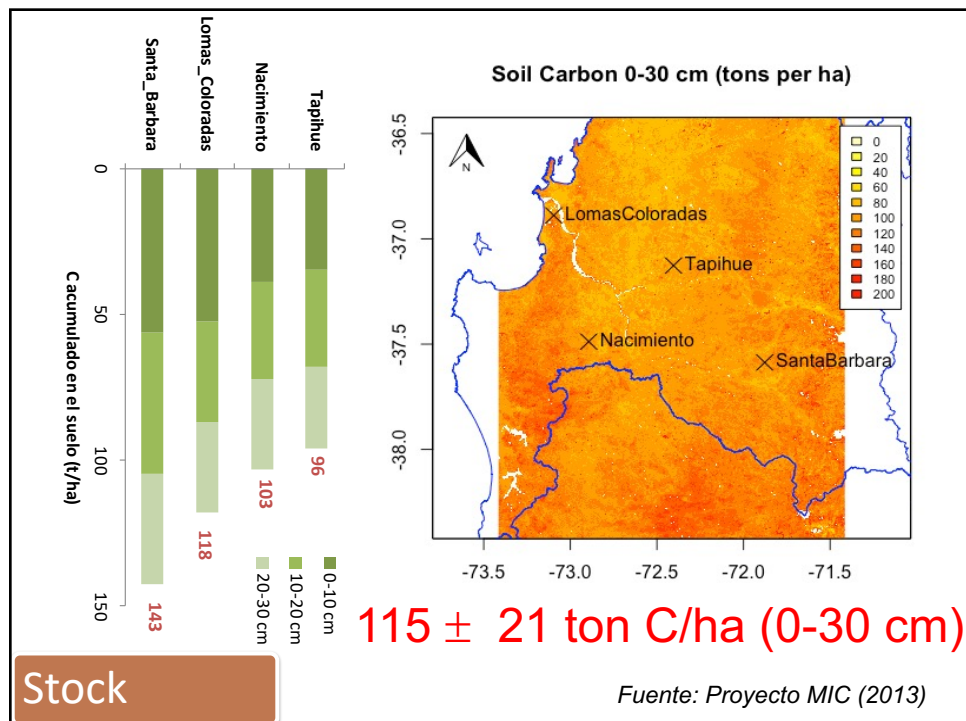
15

Stock versus Captura

16



17



18

### C en biomasa total (tC·ha<sup>-1</sup>)

|                  | Clase de Edad |              |              | Sub-Total   |
|------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
|                  | 0-7 años      | 7-14 años    | 14+ años     |             |
| LomasColoradas   | 4.8           | 69.3         | 96.4         | 56.3        |
| Nacimiento       | 68.8          | 152.7        | 109.9        | 110.5       |
| SantaBarbara     | 23.3          | 84.4         | 161.9        | 89.2        |
| Tapihue          | 2.4           | 97.2         | 139.3        | 79.5        |
| <b>Sub-Total</b> | <b>24.8</b>   | <b>101.9</b> | <b>126.5</b> | <b>84.1</b> |

### C en hojarasca (Litera) (tC·ha<sup>-1</sup>)

|                  | Clase de Edad |             |            | Sub-Total  |
|------------------|---------------|-------------|------------|------------|
|                  | 0-7 años      | 7-14 años   | 14+ años   |            |
| LomasColoradas   | 7.8           | 19.9        | 12.4       | 13.4       |
| Nacimiento       | 4.3           | 6.0         | 7.9        | 6.1        |
| SantaBarbara     | 3.5           | 6.5         | 4.5        | 4.8        |
| Tapihue          | 2.9           | 8.4         | 4.8        | 6.6        |
| <b>Sub-Total</b> | <b>5.0</b>    | <b>10.0</b> | <b>7.6</b> | <b>7.8</b> |

Stock

Fuente: Proyecto MIC (2013)

19

Captura

### Captura Anual (t C/ha/año)

|                                   | Clase de Edad |             |             | Sub-Total   |
|-----------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
|                                   | 0-7 años      | 7-14 años   | 14+ años    |             |
| LomasColoradas                    | 2.2           | 5.7         | 6.0         | 4.6         |
| Nacimiento                        | 9.6           | 10.8        | 5.7         | 8.7         |
| SantaBarbara                      | 7.3           | 10.3        | 10.6        | 9.4         |
| Tapihue                           | 1.1           | 9.6         | 8.1         | 6.2         |
| <b>Sub-Total</b>                  | <b>6.7</b>    | <b>9.1</b>  | <b>7.5</b>  | <b>7.8</b>  |
| <b>tons CO<sub>2</sub>/ha/año</b> | <b>24.7</b>   | <b>33.5</b> | <b>27.3</b> | <b>28.5</b> |

Fuente: Proyecto MIC (2013)

20

## Conversión volumen a carbono

21

**Box 1.** Cálculo de factores de conversión de 1 m<sup>3</sup> de madera de fuste a carbono (FC) y CO<sub>2</sub> equivalente (FCO<sub>2</sub>).



| A            | B   | C                 | D                                      | E     | F                                 |
|--------------|-----|-------------------|----------------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Volumen      | 1   | m <sup>3</sup>    | % Fuste                                | 60%   |                                   |
| Dens. Básica | 0.4 | t m <sup>-3</sup> | Biom.Total                             | 0.667 | t DM                              |
| Biom.Fuste   | 0.4 | t                 | C en biom.total                        | 0.333 | t C m <sup>-3</sup>               |
|              |     |                   | CO <sub>2</sub> eq. por m <sup>3</sup> | 1.222 | t CO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> |

$$B_f = V_f \times DB$$

$$B_t = B_f / F_f$$

$$C_t = B_t / 2$$

$$CO_{2t} = C_t \times 44/12$$

$V_f$  : Volumen fuste

$DB$  : Densidad básica

$B_f$  : Biomasa fuste

$F_f$  : fracción de fuste (e.g. 0.6)

$B_t$  : Biomasa total

$C_t$  : Carbono Total

$CO_{2t}$  : CO<sub>2</sub> total

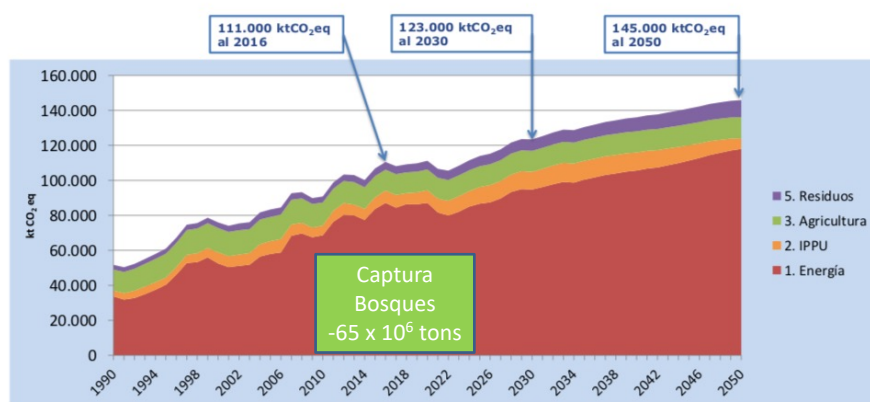
Valores críticos : **DB** y  **$F_f$**

22

Escalando a nivel  
regional/nacional

23

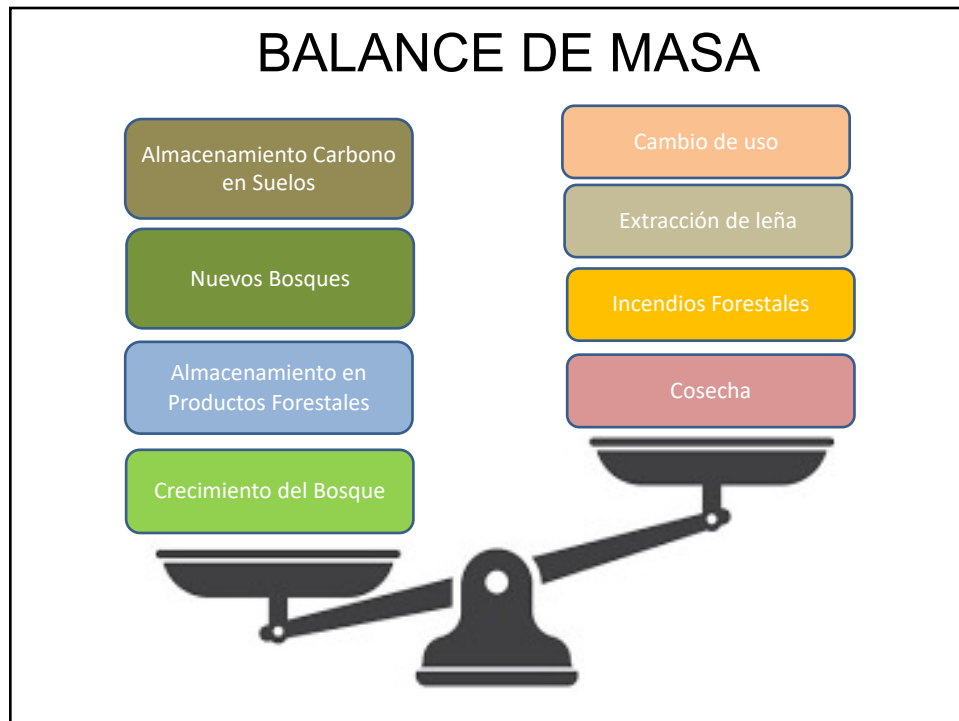
## Escenario Actual



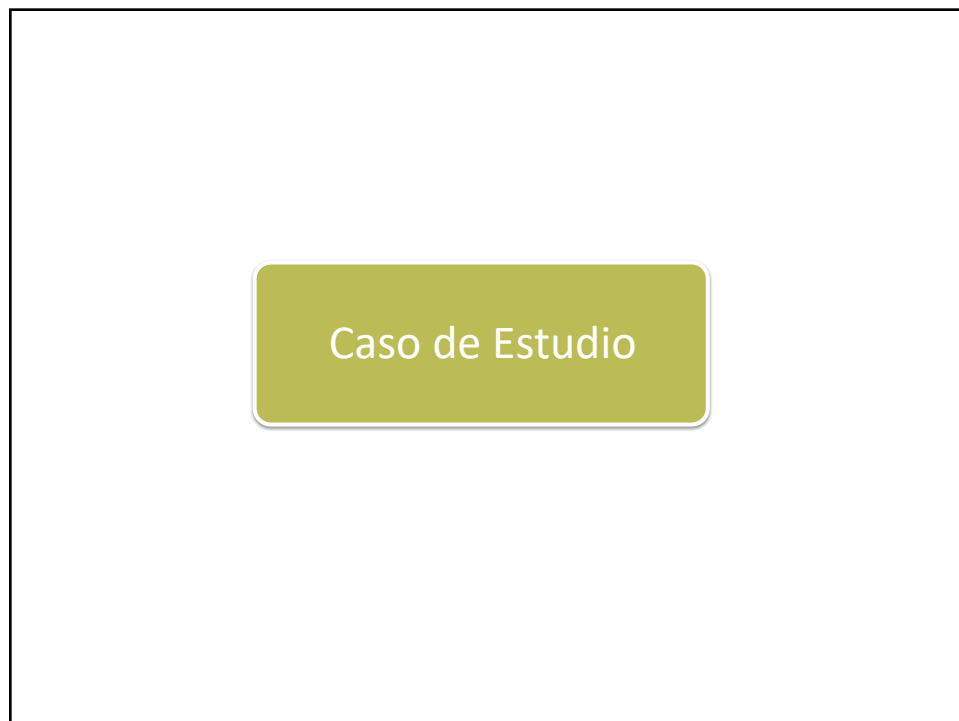
**Escenario actual: incluye políticas reportadas en Informe Bienal de Actualización (Diciembre 2018) y las levantadas hasta Mayo 2019 (MMA).**

Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile (Ministerio Medio Ambiente)

24



25



26

### **Cálculo de Secuestro de Carbono en Empresa New Forests**

31 Diciembre 2019 – 31 Diciembre 2020

|                         |                                        |
|-------------------------|----------------------------------------|
| Plantaciones Forestales | + 32.171                               |
| Bosque Nativo           | - 648.781                              |
| Productos Forestales.   | - 834.744                              |
| Incendios               | + 85.978                               |
| <b>Balance Global.</b>  | <b>- 1.365.376 tons CO<sub>2</sub></b> |

Convención: Negativo implica secuestro, Positivo emisión

27

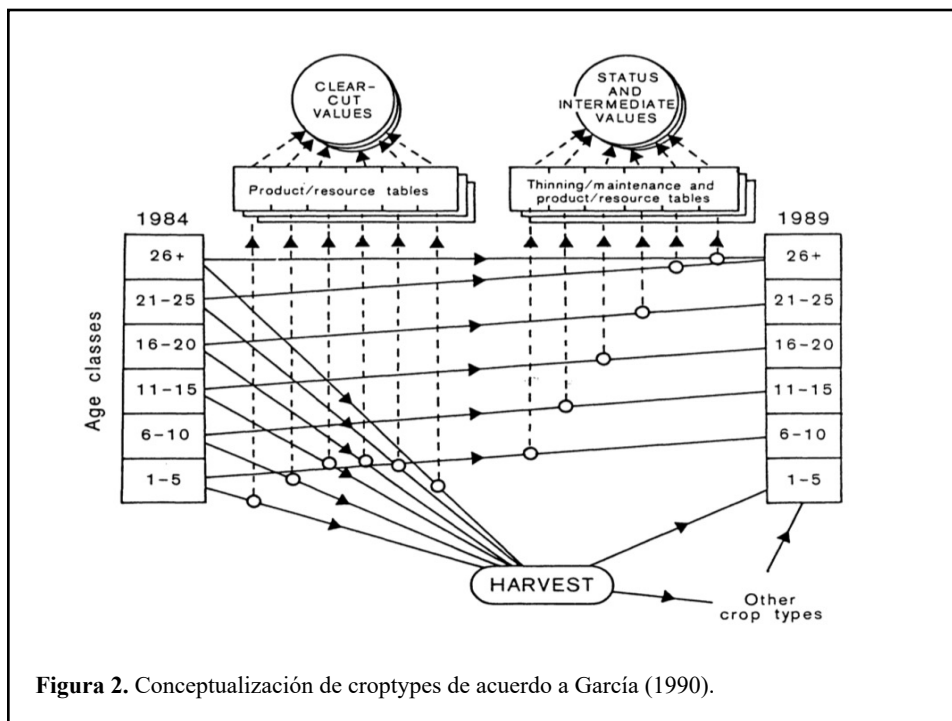
### **Cálculo de Secuestro de Carbono en Empresa Santa Rosa**

1º enero 2023– 31 Diciembre 2023

Para la contabilidad del año 2023 se consideran cuatro compartimentos:

- (1) Plantaciones Forestales
- (2) Bosques Nativos
- (3) Productos Forestales
- (4) Incendios Forestales

28



29

|    | A          | B          | C       | D           |
|----|------------|------------|---------|-------------|
| 1  | Clase edad | Superficie | Vol     | CAI         |
| 2  | (años)     | (ha)       | (m3/ha) | (m3/ha/año) |
| 3  | (1)        | (2)        | (3)     | (4)         |
| 4  |            |            |         |             |
| 5  | [0-5)      | 7,043      | 4.39    | 2.30        |
| 6  | [5-10)     | 7,391      | 66      | 7.60        |
| 7  | [10-15)    | 8,042      | 175     | 18.00       |
| 8  | [15-20)    | 10,353     | 301     | 25.00       |
| 9  | [20-25)    | 4,028      | 437     | 27.00       |
| 10 | [25-30)    | 884        | 543     | 26.90       |
| 11 | >30        | 396        | 675     | 22.00       |
| 12 |            | 38,136     | 198.0   | 12.6        |

**Figura 3.** Ejemplo de croptype de *Pinus radiata*

30

### **División de Patrimonio en Croptypes**

#### **(1) Plantaciones Forestales**

Separado en 28 croptypes:

- 15 Pino Radiata (cruce zona x manejo)
- 4 E.globulus, 4 E.nitens, 4 E.híbrido
- 1 croptype otras especies

#### **(2) Bosque Nativo**

Croptypes son tipos forestales

31

### **Tablas de Rendimiento**

#### **(1) Plantaciones Forestales**

Una para cada croptype

#### **(2) Bosque Nativo**

No hay tablas de rendimiento

32

### Métodos

- Para la contabilidad del año 2023 todo se basa en volumen de madera
- Conversiones se hacen desde  $\text{m}^3$  a ton carbono
- Para plantaciones se usa el métodos de diferencia de stock (Stock Diciembre 2023 – Stock Diciembre 2022)
- Para bosque nativo se usa el método de superficies x crecimiento dado que no existen inventarios
- Para productos forestales se usan ecuaciones IPCC(2006)
- Para incendios se usan superficies quemadas por clase de edad, tablas de rendimiento y factor de pérdida

33

### Métodos

- Para convertir 1  $\text{m}^3$  de madera a toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente se multiplica por factores de conversion:
 

|                |                                        |
|----------------|----------------------------------------|
| • Pino Radiata | 1.183 ton $\text{CO}_2 \text{ m}^{-3}$ |
| • Eucalyptus   | 1.478 ton $\text{CO}_2 \text{ m}^{-3}$ |
| • Nativo       | 1.478 ton $\text{CO}_2 \text{ m}^{-3}$ |

Supuestos:

- (1) Fuste representa el 62% de la biomasa total para todas las especies
- (2) Densidad básica de Radiata 0.4, Eucalyptus y Nativo  $0.5 \text{ g cm}^{-3}$
- (3) 50% de biomasa es carbono

Calcular propios factores de conversión, considerando especie, edad y productividad

34

## Productos Forestales

### EQUATION 12.1

#### ESTIMATION OF CARBON STOCK AND ITS ANNUAL CHANGE IN HWP POOLS OF THE REPORTING COUNTRY

Starting with  $i = 1900$  and continuing to present year, compute

$$(A) \quad C(i+1) = e^{-k} \cdot C(i) + \left[ \frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \cdot \text{Inflow}(i) \quad \text{with } C(1900) = 0.0$$

$$(B) \quad \Delta C(i) = C(i+1) - C(i)$$

Note: For an explanation of technique used in Equations 12.1A to estimate first-order decay see Pingoud and Wagner (2006).

#### Rendimiento de trozas a productos:

| Producto. | Rend. | %Ast |
|-----------|-------|------|
| SolidWood | 0.466 | 27%  |
| PlyWood   | 0.5.  | 24%  |

#### Rendimiento de trozas a productos:

| Pulp | Radiata    |       |
|------|------------|-------|
|      | E.nitens   | 0.182 |
|      | E.globulus | 0.29  |
|      |            | 0.31  |

Se asume que pasan a pulpa

|           | SolidWood | Plywood | PulpWood |
|-----------|-----------|---------|----------|
| Half-life | 35        | 25      | 2        |
| k         | 0.0198    | 0.0277  | 0.3466   |

35

## IPCC Guidelines – Disturbios

### EQUATION 2.14

#### ANNUAL CARBON LOSSES IN BIOMASS DUE TO DISTURBANCES

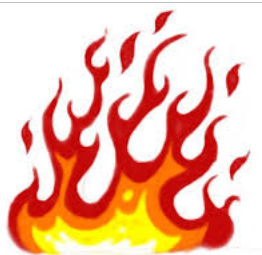
$$L_{\text{disturbance}} = \{A_{\text{disturbance}} \cdot B_W \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

Área quemada (has)

C en biomasa i.e. 0.5

Fracción de biomasa perdida

Biomasa total (t ha<sup>-1</sup>)



fd utilizado fue 0.45



36

## Incendios

- Para convertir 1 m<sup>3</sup> de madera a toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente se multiplica por factores de conversion:

|                |                                           |
|----------------|-------------------------------------------|
| • Pino Radiata | 1.183 ton CO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> |
| • Eucalyptus   | 1.478 ton CO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> |
| • Nativo       | 1.478 ton CO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> |

Supuestos:

- (1) Fuste representa el 62% de la biomasa total para todas las especies
- (2) Densidad básica de Radiata 0.4, Eucalyptus y Nativo 0.5 g cm<sup>-3</sup>
- (3) 50% de biomasa es carbono

37

| <b>TABLE 2.6</b><br><b>COMBUSTION FACTOR VALUES (PROPORTION OF PREFIRE FUEL BIOMASS CONSUMED) FOR FIRES IN A RANGE OF VEGETATION TYPES</b><br>(Values in column 'mean' are to be used for quantity $C_f$ in Equation 2.27 ) |                                        |             |             |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|-------------|----------------|
| Vegetation type                                                                                                                                                                                                             | Subcategory                            | Mean        | SD          | References     |
| Eucalyptus forests                                                                                                                                                                                                          | Wildfire                               | -           | -           |                |
|                                                                                                                                                                                                                             | Prescribed fire – (surface)            | 0.61        | 0.11        | 72, 54, 60, 9  |
|                                                                                                                                                                                                                             | Post logging slash burn                | 0.68        | 0.14        | 25, 58, 46     |
|                                                                                                                                                                                                                             | Felled and burned (land-clearing fire) | 0.49        | -           | 62             |
| <b>All Eucalyptus forests</b>                                                                                                                                                                                               |                                        | <b>0.63</b> | <b>0.13</b> |                |
| Other temperate forests                                                                                                                                                                                                     | Post logging slash burn                | 0.62        | 0.12        | 55, 19, 27, 14 |
|                                                                                                                                                                                                                             | Felled and burned (land-clearing fire) | 0.51        | -           | 53, 24, 71     |
| <b>All “other” temperate forests</b>                                                                                                                                                                                        |                                        | <b>0.45</b> | <b>0.16</b> | 53, 56         |

38

## IPCC Guidelines

Se aplican a nivel de país, NO de Compañía

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC 2014, 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds) Published: IPCC, Switzerland. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html>

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Revisar: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>

39



Article

### Improving the Combustion Factor to Estimate GHG Emissions Associated with Fire in *Pinus radiata* and *Eucalyptus* spp. Plantations in Chile

Guillermo Federico Olmedo <sup>1,\*</sup>, Horacio Gilabert <sup>2</sup>, Horacio Bown <sup>3</sup>, Rebeca Sanhueza <sup>4</sup>, Pia Silva <sup>5</sup>, Carlos Jorquera-Stuardo <sup>1</sup> and Francisco Sierra <sup>5</sup>

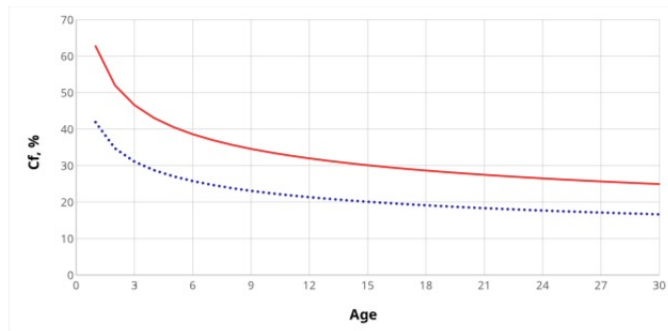


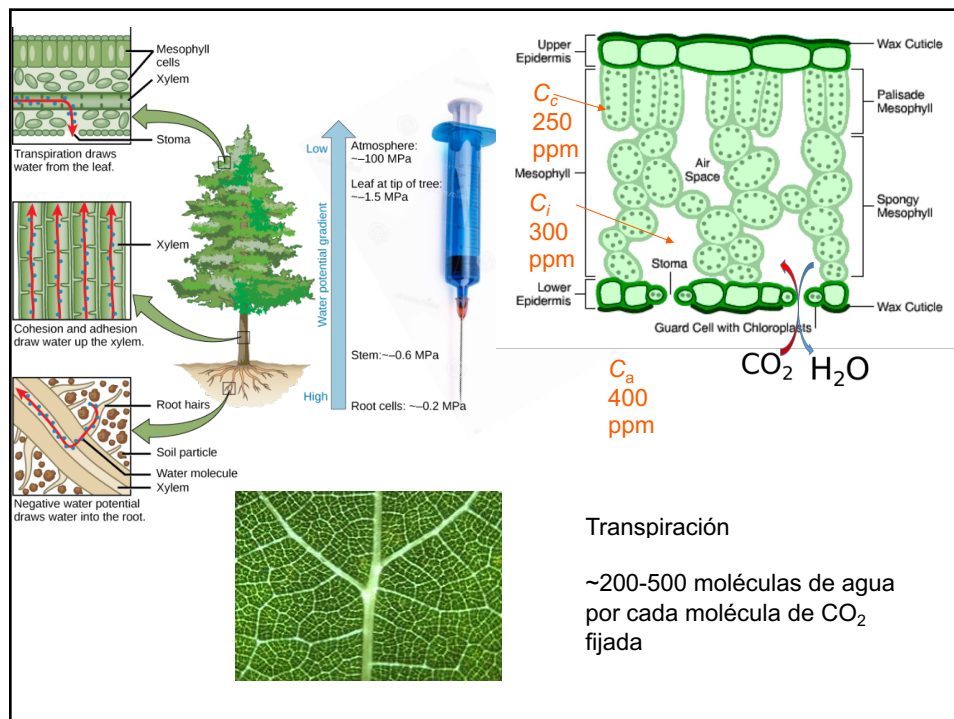
Figure 4. Shape of the combustion factor ( $C_f$ ) estimated using the proposal model using age, species, and a given stand, for *P. radiata* (red) and *Eucalyptus* spp. (blue).

$$C_f = \exp(3.7113 - 0.2715 \ln(\text{age}) + 0.4043 (Eu = 0, Pr=1))$$

40

# AGUA

41



42

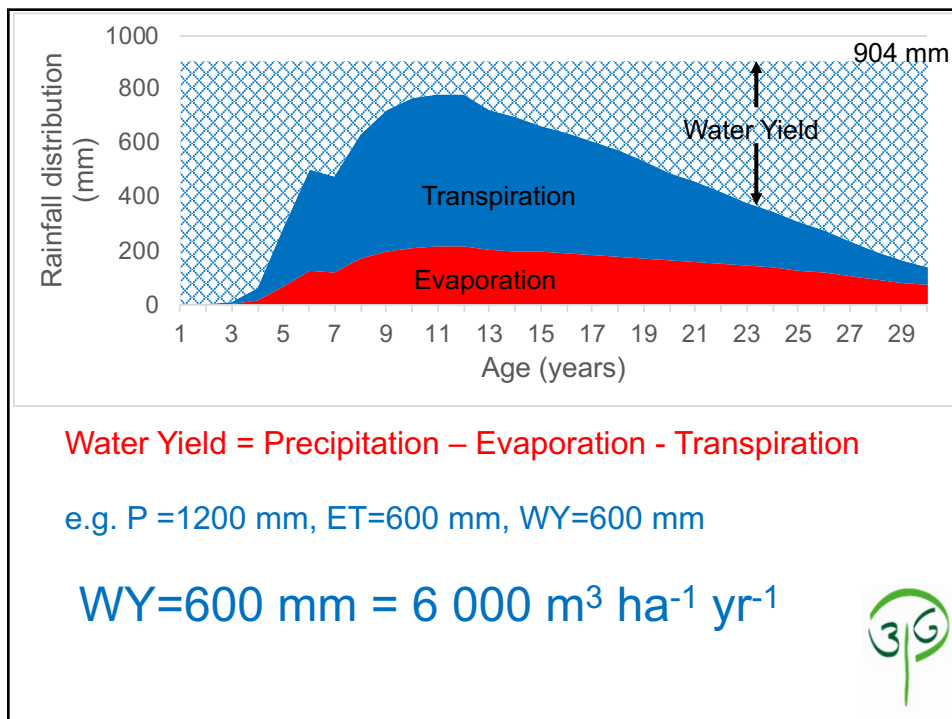


## Consumo de Agua

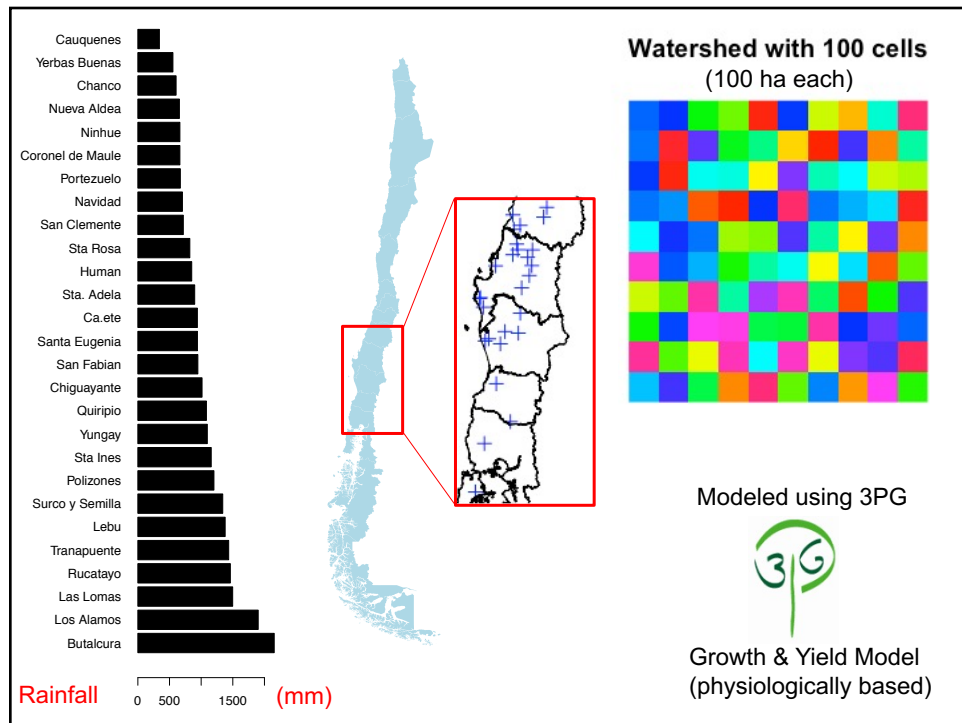


| Variable163                                                                               | Esclerófilas | <i>P.radiata</i> | <i>E.nitens</i> | <i>E.globulus</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|-----------------|-------------------|
| $A_{\text{sat}}$ (fotosíntesis, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )                    | 7-14         | 12-18            | 9-30            | 5-28              |
| $g_m/g_s$<br>(relación de conductancias)                                                  | 0.5          | 1.1              | 1               | 0.7               |
| 1/WUE<br>(inverso eficiencia uso de agua, $\text{mol H}_2\text{O mol}^{-1} \text{CO}_2$ ) | 326          | 291              | 326             | 190               |
| $\text{m}^3 \text{H}_2\text{O m}^{-3}$ madera                                             | 280          | 250              | 280             | 163               |
| mm transp. $\text{m}^{-3}$ madera                                                         | 28           | 25               | 28              | 16                |
| MAI ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ )                                       | 2-5          | 15-35            | 20-40           | 15-35             |
| Consumo Transp (mm)                                                                       | 56-140       | 375-874          | 559-1119        | 245-571           |

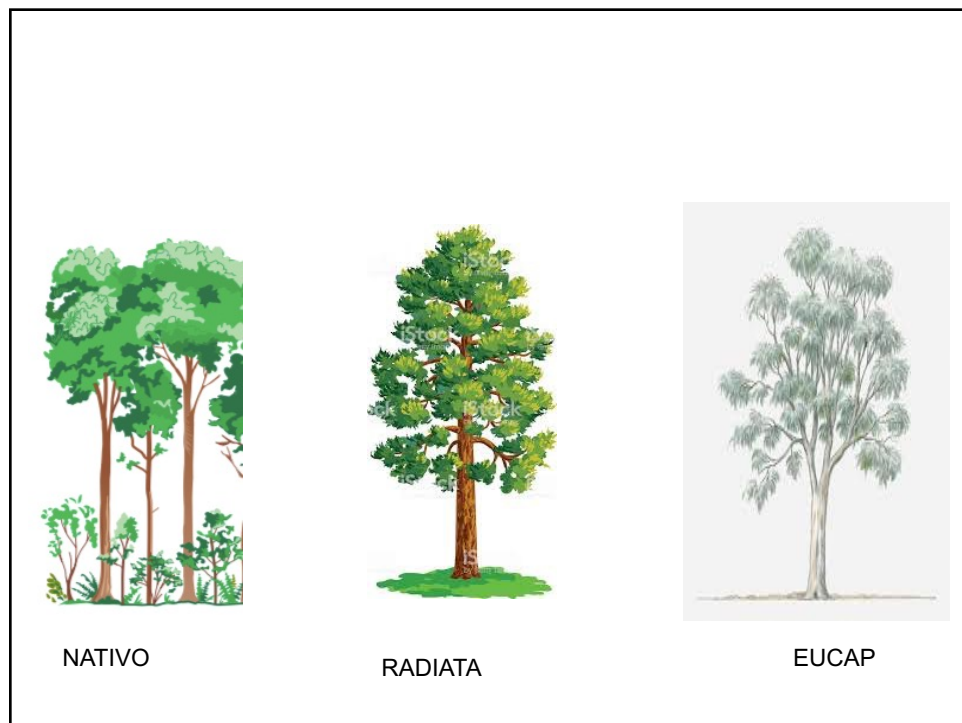
43



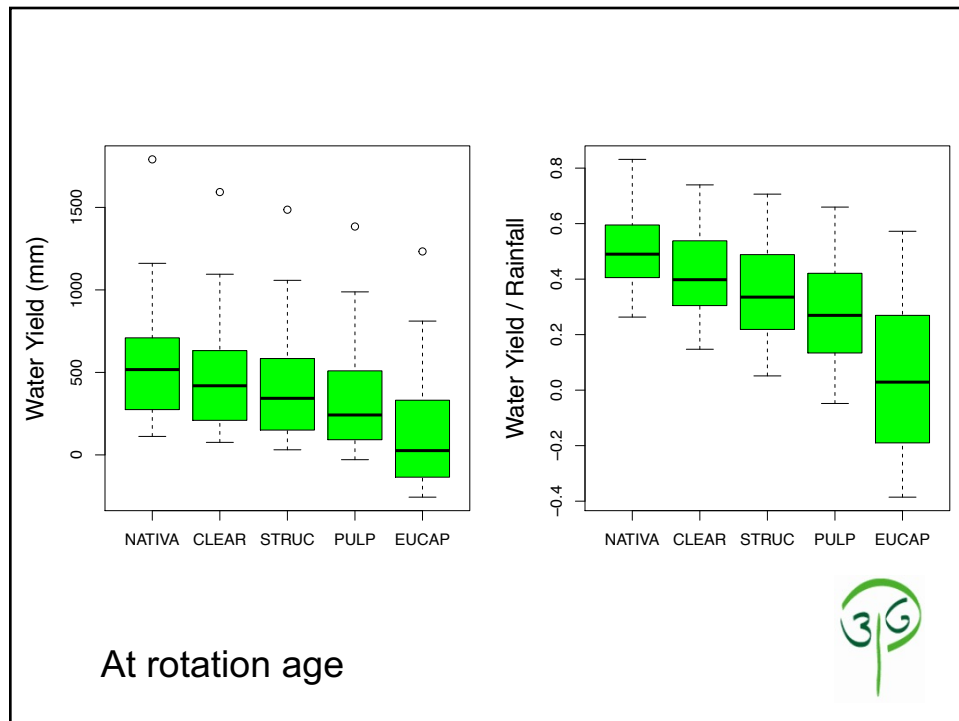
44



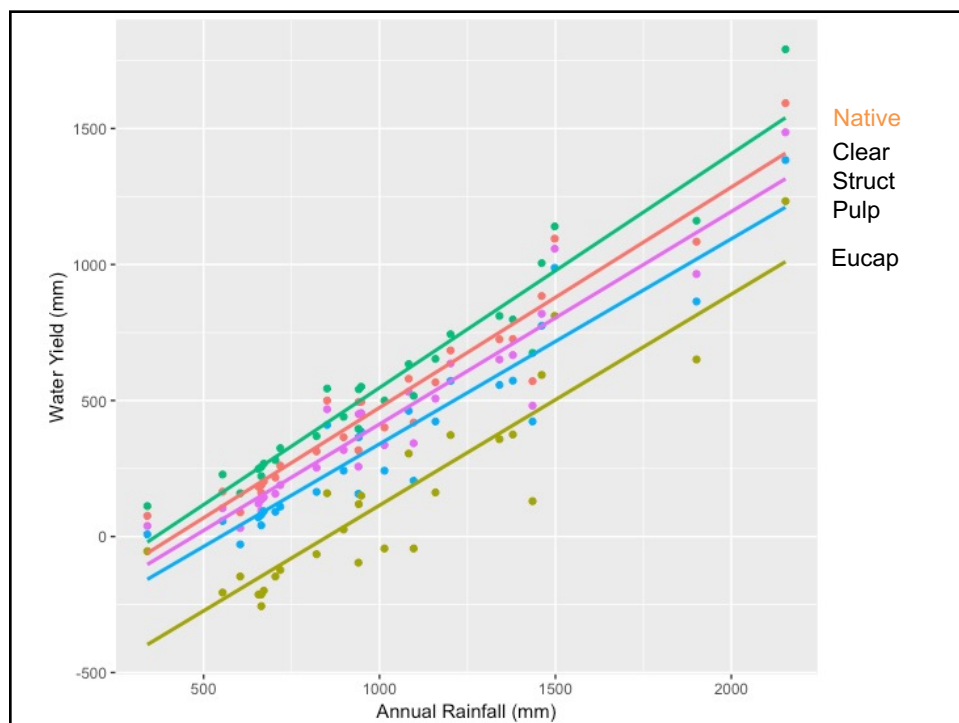
45



46

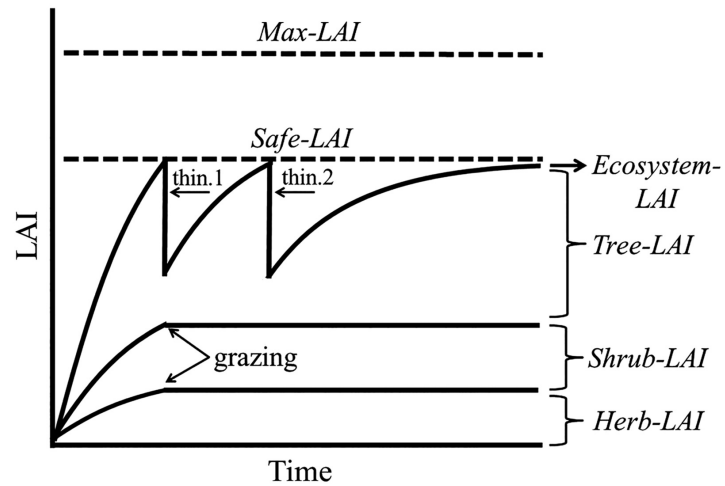


47



48

## Rodales

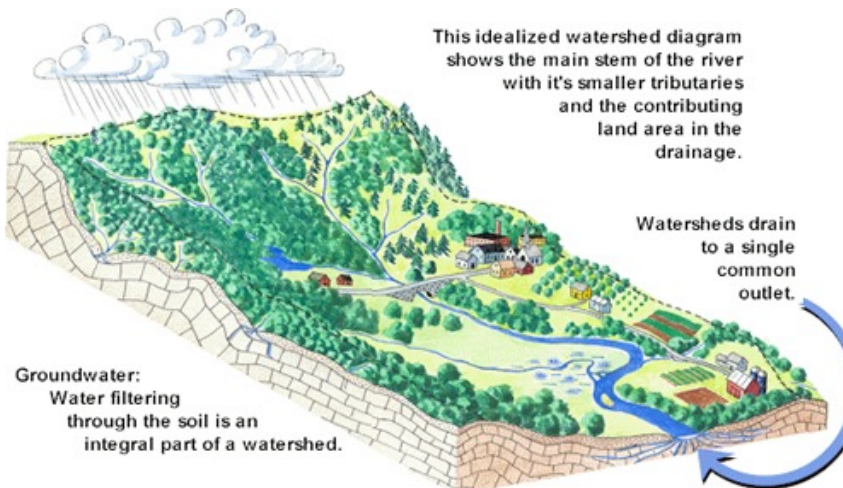


Ozem & O'Hara. 2016. An ecohydrological approach to managing dryland forests: integration of leaf area metrics into assessment and management

Forestry 2016; 89, 338–349, doi:10.1093/forestry/cpw021

49

## Cuencas



Distintas cubiertas vegetales generarán distintos caudales

50

### Box 3. Cálculo del consumo de agua de una plantación

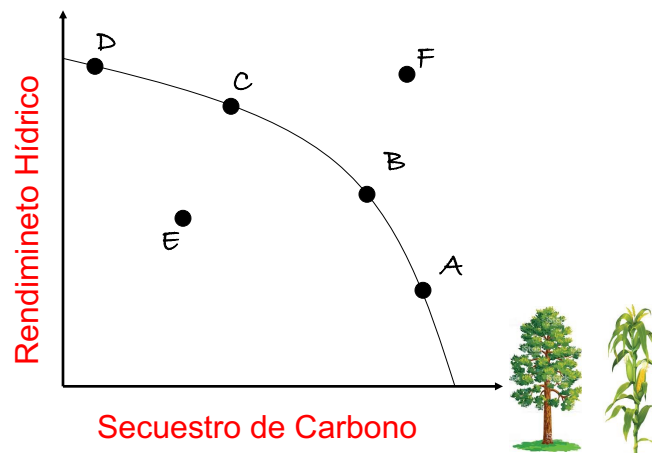


Considere que el consumo de agua para producir 1 m<sup>3</sup> de madera (huella hídrica) es de 300 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> madera, con un CAI de 24 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para una clase de edad y croptype en particular. Entonces el consumo hídrico sería de  $300 \times 24 = 7200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  o equivalentemente 720 mm anuales.

- Alvarez et al. (2013) modelaron para *Pinus radiata* en Chile que la huella hídrica oscilaría entre 230–770 m<sup>3</sup> de agua para producir 1 m<sup>3</sup> de madera.
- White et al. (2014) para *E. globulus* en Australia, estimaron que las huellas hídricas oscilaban entre 200 m<sup>3</sup> (ambientes secos) y 666 m<sup>3</sup> de agua (ambientes húmedos) para producir 1 m<sup>3</sup> de madera.

51

### Curva de Posibilidades Producción Secuestro Carbono & Caudales Bajo condiciones de restricción hídrica



52

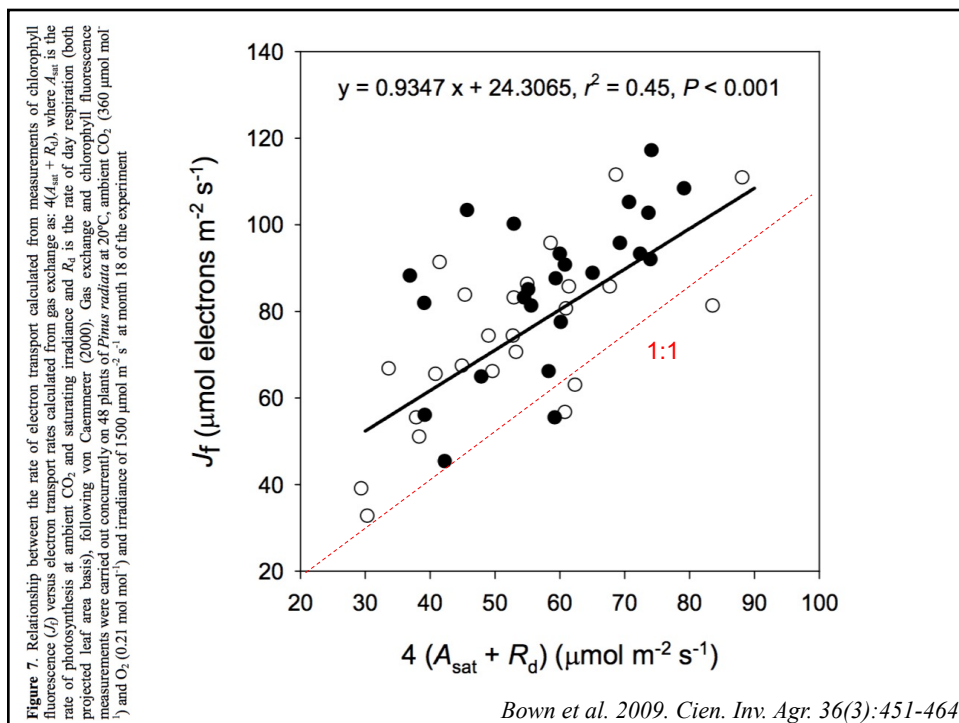
## OXÍGENO

53

### Electrons, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>

4 mol of electrons (from 2 mol H<sub>2</sub>O)  
are required to evolve 1 mol of O<sub>2</sub>,  
and fix 1 mol of CO<sub>2</sub> (von Caemmerer  
2000)

54



55

**Box 2.** Cálculo de producción de  $\text{O}_2$  por cada  $\text{m}^3$  de madera de fuste producida (FO2)

La cantidad neta de oxígeno producido por un árbol durante un año está directamente relacionada con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, que está vinculado a la acumulación de biomasa arbórea (Nowak et al. 2007). Así, la cantidad de oxígeno producido puede ser calculado a partir de las tasas de secuestro de carbono y de los pesos atómicos del carbono y el oxígeno como:

$$\text{Producción neta O}_2 \text{ (kg/yr)} = \text{secuestro neto de carbono (kg/yr)} \times 32/12$$

Del Box 1 se estimó que  $1 \text{ m}^3$  de madera es equivalente a  $0.333 \text{ t C m}^{-3}$ , valor que equivale a biomasa no sólo de fuste sino que de raíces, ramas y hojas. Asumiremos que este valor corresponde a la productividad primaria neta (NPP, celda B1). Basado en lo anterior podemos estimar la producción neta de  $\text{O}_2$  (celda B3) como  $\text{celda B2} \times 32/12$ , donde  $32 \text{ g mol}^{-1}$  es el peso molecular del  $\text{O}_2$  y  $12 \text{ g mol}^{-1}$  el peso atómico del C.

|   | A                  | B     | C                             |
|---|--------------------|-------|-------------------------------|
| 1 | NPP                | 0.333 | $\text{t C m}^{-3}$           |
| 2 | Prod. $\text{O}_2$ | 0.888 | $\text{t O}_2 \text{ m}^{-3}$ |

56