

Modelación del crecimiento y productividad en
condiciones de cambio climático, mediante un
modelo basado en procesos en plantaciones de
Eucalyptus nitens.

MSc (c) Pablo Mena Quijada

Dr. Rolando Rodríguez Leiva

Dr. Rafael Rubilar Pons

Dr. Eduardo Acuña Carmona

INTRODUCCIÓN

Enfoques de modelación del crecimiento y la productividad de masas forestales

Tipo de Información

Modelos Empíricos

Observaciones históricas de Crecimiento

Modelos Basados en Procesos

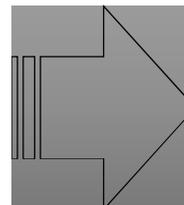
Clima, Edafología, relaciones Alométricas y Fisiología de la especie

Modelos Híbridos

Observaciones Históricas Y Clima y Edafología

Incorporan Información Edafoclimática

La modelación de plantaciones se ha basado en su mayoría en Modelos Empíricos



Oportunidad para el uso de modelos de basados en procesos, en el análisis de productividad en escenarios ambientales cambiantes.

Los estudios desarrollados para el análisis de la productividad en condiciones de cambio climático, presentan resultados diferentes debido:

- La gama de modelos existentes (Medlyn et al., 2011)
- Los ensayos de laboratorio del cambio climático en la fisiología de las plantas (McMurtrie y Wang, 1993; Ainsworth y Long 2005).

Type	Spatial Scale	Level of Empiricism	Species Change Predicted	Example Models	Reference	Example Applications
(1) Process-based stand models	Forest stand	Process-based	No	GDAY	10	16
				CENW	11	17
				CENTURY	12	18
				PnET	13	19
				CABALA	9	20
				GOTILWA+ecosys	14	21
(2) Terrestrial biogeochemical models	Regions to global	Process-based	No	BIOME-BGC	23	27
				TEM	24	28
				HRBM	25	29
				TRIPLEX	26	30
(3) Hybrid models	Forest stand	Hybrid	No	MELA	31	34
				FVS-BGC	32	
				FULLCAM	33	
(4) Carbon accounting models	Regions	Hybrid	No	CBM-CFS	35	38,39
				GORCAM	36	40,41
				EFISCEN	37	
(5) Gap models	Patches to regions	Process-based	Yes	SIMA	42	46
				FORSKA	43	47
				FORCLIM	44	48
				PICUS	45	49
(6) Dynamic Global vegetation models (DGVMs)	Regions to global	Process-based	Yes	LPJ	50	55
				CLM-DGVM	51	56
				Orchidee	52	57
				MC1-DGVM	53	
				SDGVM	54	

Fuente: Medlyn BE, RA. Duursma, MJB Zeppel. 2011. Forest productivity under climate change: a checklist for evaluating model studies. WIREs Clim Change. John Wiley & Sons, Ltd.

I EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: TEMPERATURA

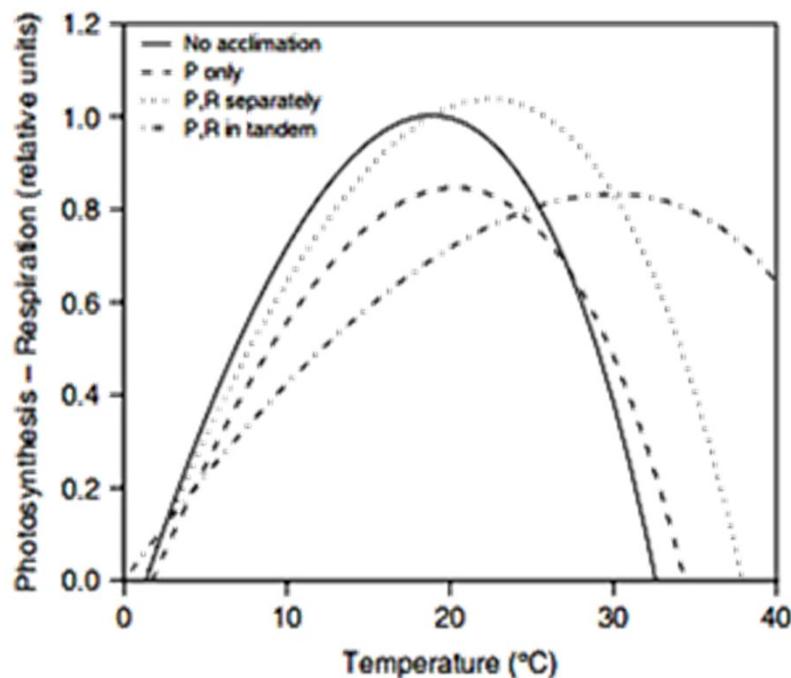
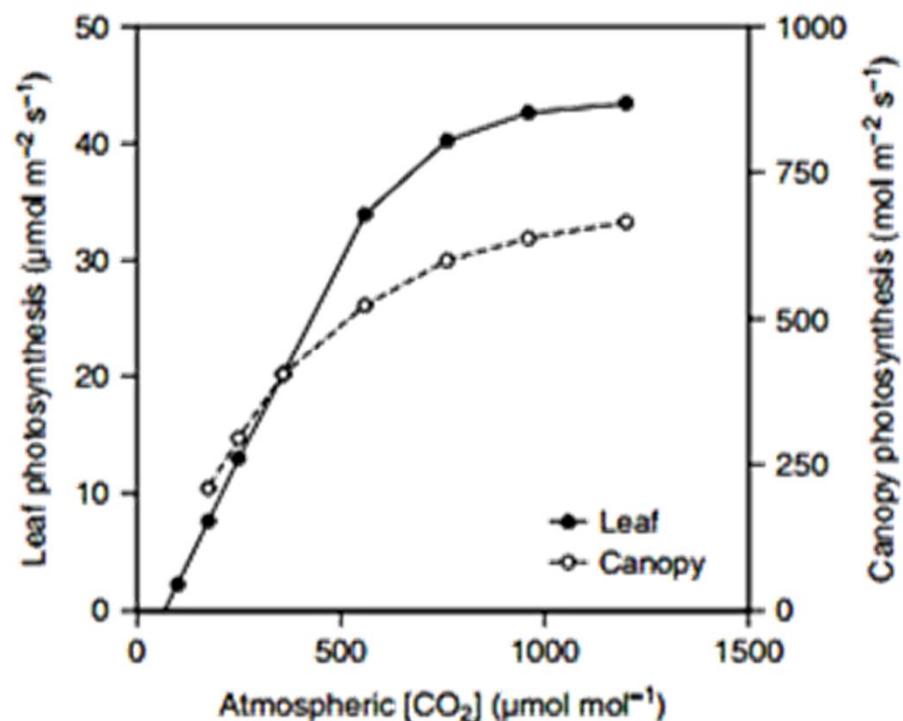


Figura 1. Efectos de los diferentes supuestos de aclimatación a la temperatura sobre la disponibilidad neta de carbono en la hoja y dosel.

Fuente:McMurtrie R, Y Wang. 1993. Mathematical models of the photosynthetic response of tree stands to rising CO₂ concentrations and temperatures. *Plant Cell Environ* 1, 16:1-13.

II EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: INCREMENTO EN EL CO₂ EN LA ATMÓSFERA



Los ejes Y se escalan de modo que los puntos se superponen al CO₂ ambiental actual (400 μmol mol⁻¹)

Figura 2. Comparación con y sin aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera, en la fotosíntesis instantánea de la hoja (símbolos rellenos) y la fotosíntesis en el dosel (símbolos abiertos).

Fuente: Ainsworth EA, SP Long. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol*, 165:351–371.

Se consideran dos grandes enfoques para el análisis del cambio climático sobre la productividad de los bosques:

Enfoque optimista. Esta posición prevé predicciones aumentos de la productividad bajo el escenario de cambio climático. Ello se justifica básicamente por el incremento en las tasas de fotosíntesis y la eficiencia del uso del agua debido:

- i) Aumento de concentración de CO₂ atmosférico
- ii) Modificación de temperaturas óptimas para los procesos de la fotosíntesis o crecimiento
- iii) Aumento de la temperatura óptima con el aumento concentración de CO₂ atmosférico
- iv) Alta capacidad de retención de humedad del suelo; alto contenido de nitrógeno debido a tasas de deposición más altas y escenarios de cambio climático leve.

Enfoque pesimista. Esta posición, predice una disminución de la productividad, debido a:

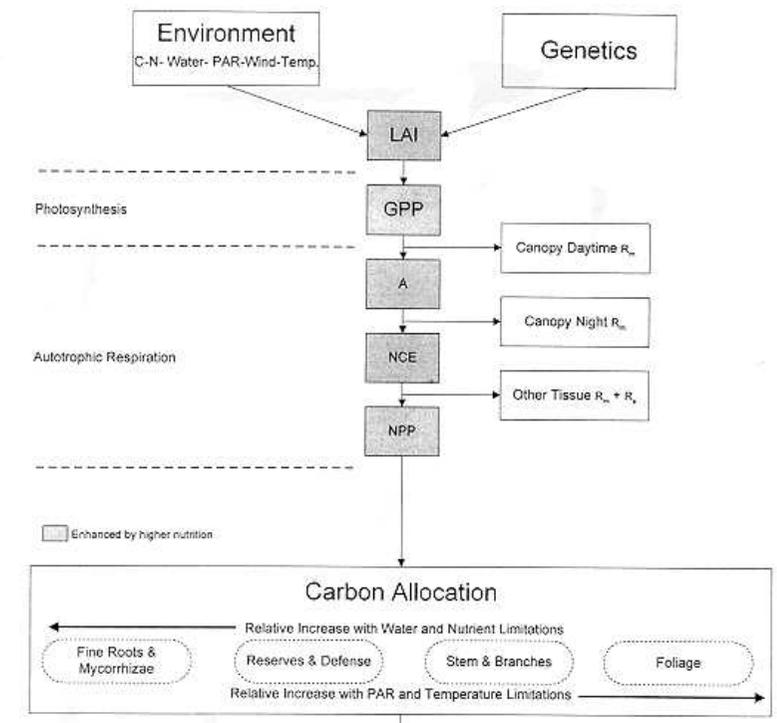
- i) Una baja en la producción de carbohidratos en la fotosíntesis en respuesta al aumento de concentración de CO₂ atmosférico
- ii) Baja la temperatura óptima para la fotosíntesis o crecimiento
- iii) Baja la capacidad de retención de humedad del suelo
- iv) Los umbrales para la sequía y efectos sobre la absorción de carbono serán más bajos
- v) Aumento de la mortalidad de árboles por sequía
- vi) Aumento de la perturbación del fuego y plagas con severos daños a los bosques y escenarios de cambio climático extremos

¿Cuál será el efecto del aumento en los niveles de CO_2 , temperatura y reducción en las precipitaciones provocadas por el cambio climático, en el crecimiento y productividad de cultivos de *Eucalyptus nitens*?

METODOLOGÍA

Modelo 3-PG

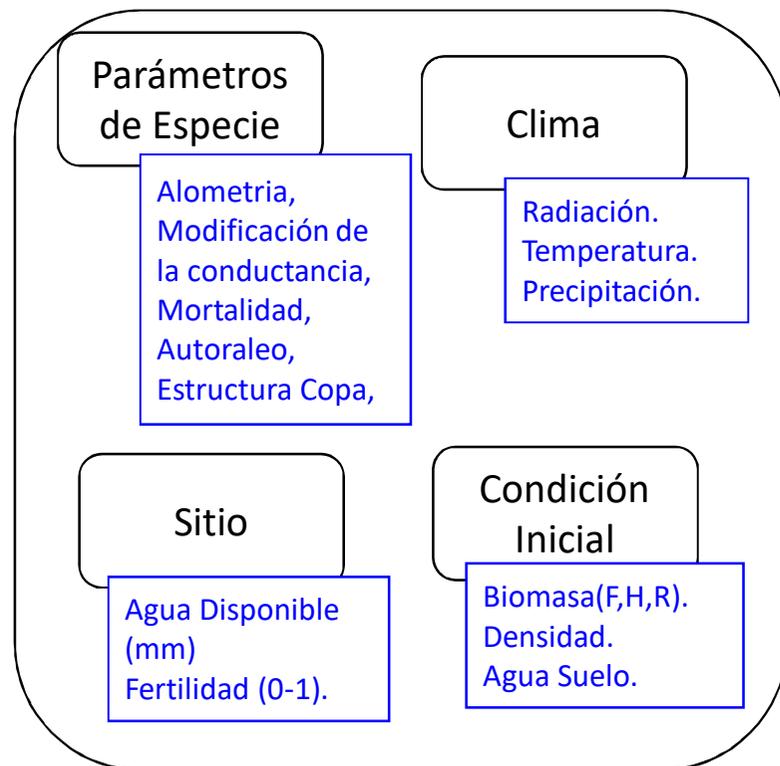
- El modelo 3-PG ha sido ampliamente parametrizado en especies con fines madereros de rápido crecimiento y manejos silvícolas tradicionales (Landsberg y Waring, 1997).
- Nosotros hemos parametrizado el modelo híbrido 3-PG, para analizar el crecimiento y la productividad de plantaciones en condiciones de cambio climático (Rodríguez et al., 2009).



Landsberg, JJ, RH Waring. 1997. "A generalised model of forest productivity using concepts of radiation use efficiency, carbon balance and partitioning", *Forest Ecology and Management*. 95: 209-228.

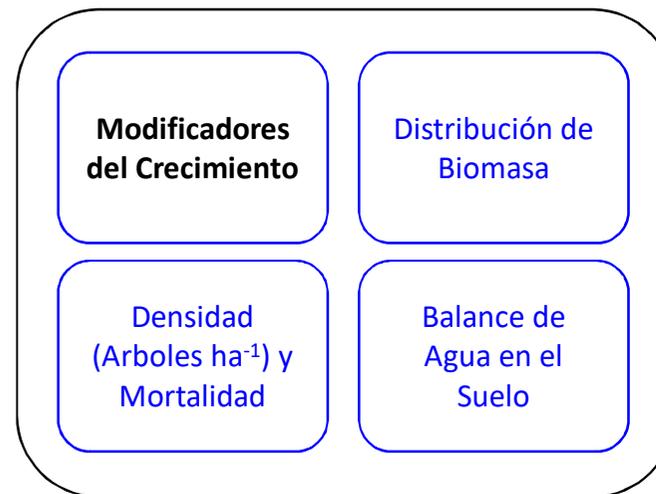
Rodríguez R, P Real, MA Espinosa and D Perry. 2009. A process-based model to evaluate site quality for *Eucalyptus nitens* in the Bio-Bio Region of Chile. *Forestry*. 82 (2):149-162.

INPUTS



Cómo Funciona el modelo 3PG?

PROCESO

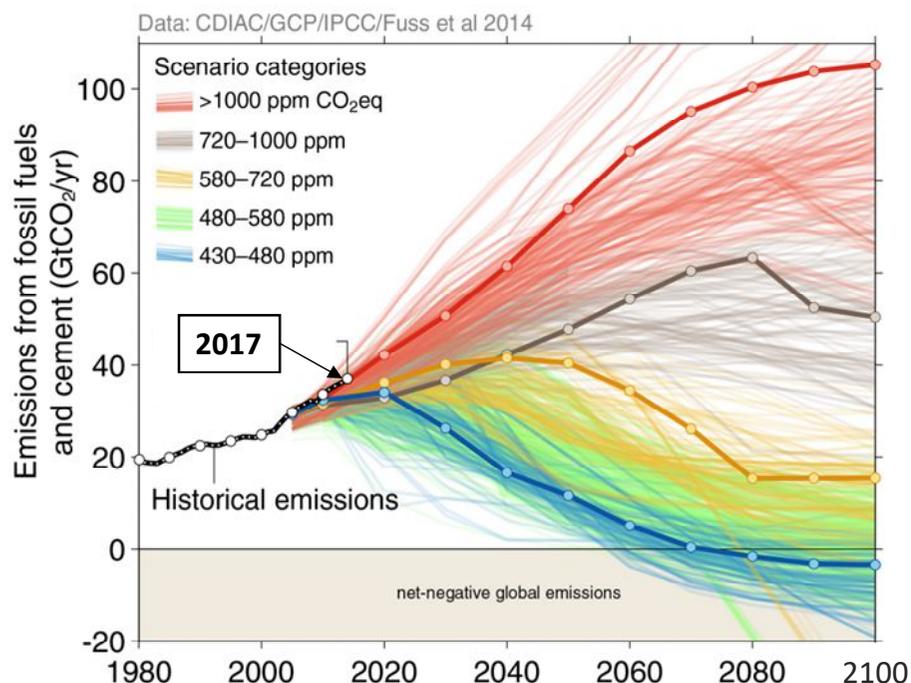


OUTPUTS

- Biomasa Fuste, Hojas y Raíces
- Densidad,
- Volumen (madera),
- Diámetro del rodal,
- Incrementos corrientes,
- Balance Hídrico.

Aplicación del Modelo 3PG en condiciones de Cambio Climático.

Escenarios de cambio climáticos acompañados de modelos basados en procesos resultan útiles para la determinación de potenciales riesgos productivos en distintos tipos de cultivos (Almeida et al. 2009).

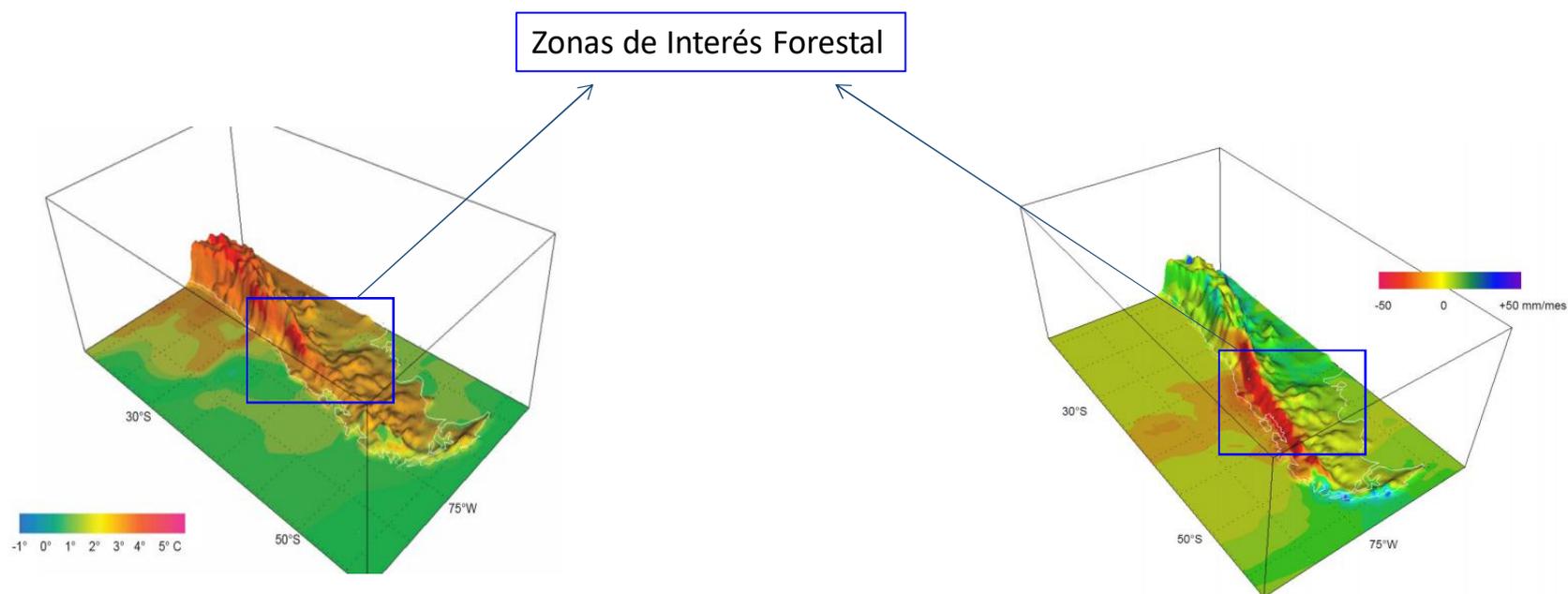


Utilizamos concentraciones de CO₂:

- 400 ppm que define la situación actual.
- 650 ppm que define condiciones de cambio climático severo.

Fuente: Almeida AC, PJ Sands, J Bruce, AW Siggins, A Leriche, M Battaglia, TR Batista. 2009. Use of a spatial process-based model to quantify forest plantation productivity and water use efficiency under climate change scenarios. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July, 2009.

Efecto del Cambio climático en la Temperatura y Precipitaciones (Garreaud, 2011)



Aumento en 4 °C
Para el periodo 2070 - 2100

Reducción de hasta 50 mm/mes
Para el periodo 2070 - 2100

Garreaud RD. 2011. Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. Revista Tierra Adentro – INIA. N°93. http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia_RGS_final.pdf.

Utiliza un concepto simplificado de la eficiencia en el uso de la luz.

También denominada “canopy quantum efficiency” denotada por α_c (Landsberg y Waring, 1997). Donde La productividad primaria bruta (GPP) es proporcional a la luz interceptada:

$$GPP = \alpha_c (1 - \exp(-kL))Q_0$$

K es el coeficiente de extinción de la luz

L es el índice de área foliar del dosel

Q_0 Es la radiación solar Incidente (media mensual)

α_c depende del sitio y condiciones climáticas

$$\alpha_c = f_t f_f f_r f_s f_{ca} f_{age} \min\{f_d, f_\theta\} \alpha_{cx}$$

α_{cx} es un parámetro α_c específico para la especie.

$$NPP = Y * GPP$$

Y es una constante que define la razón entre GPP y NPP donde se asume una pérdida de GPP producto de la respiración

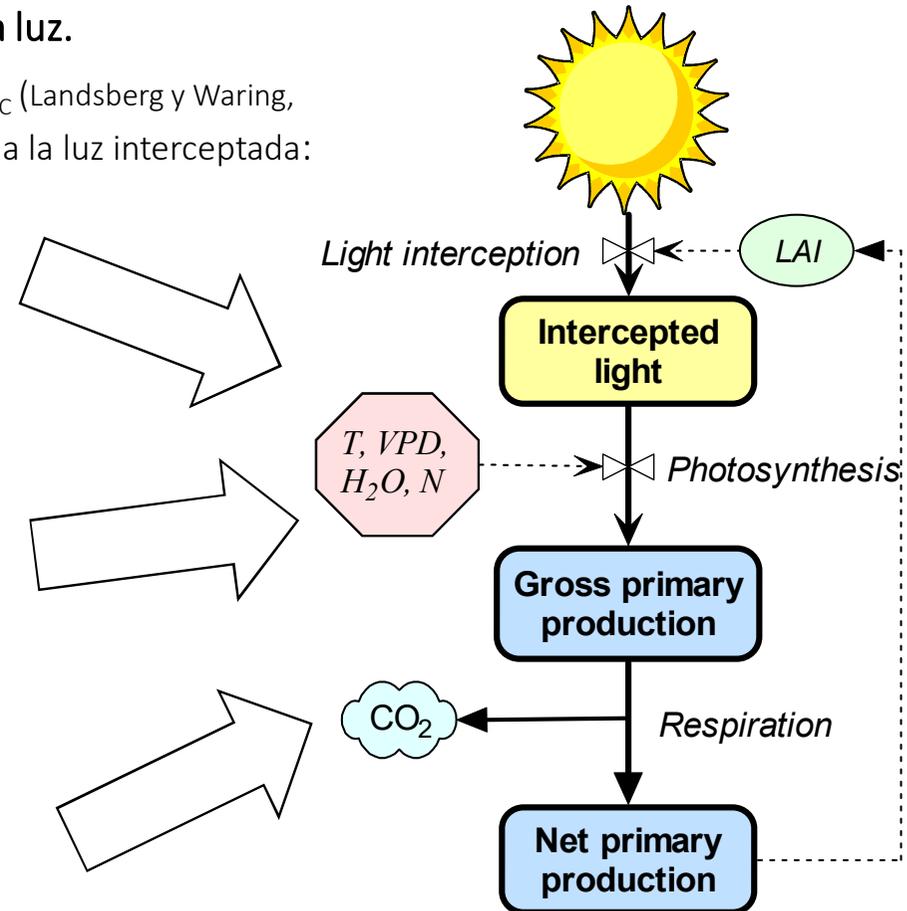


Imagen: Peter Sands (2002)

Modificadores Ambientales al Cambio Climático
Modificador del crecimiento Asociado a Temperatura

$$a_c = f_t f_f f_{fr} f_s f_{ca} f_{age} \min\{f_d, f_\theta\}^\alpha C_x$$

$$f_T(T_a) = \left(\frac{T_a - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} \right) \left(\frac{T_{max} - T_a}{T_{max} - T_{opt}} \right)^{(T_{max} - T_{opt}) / (T_{opt} - T_{min})}$$

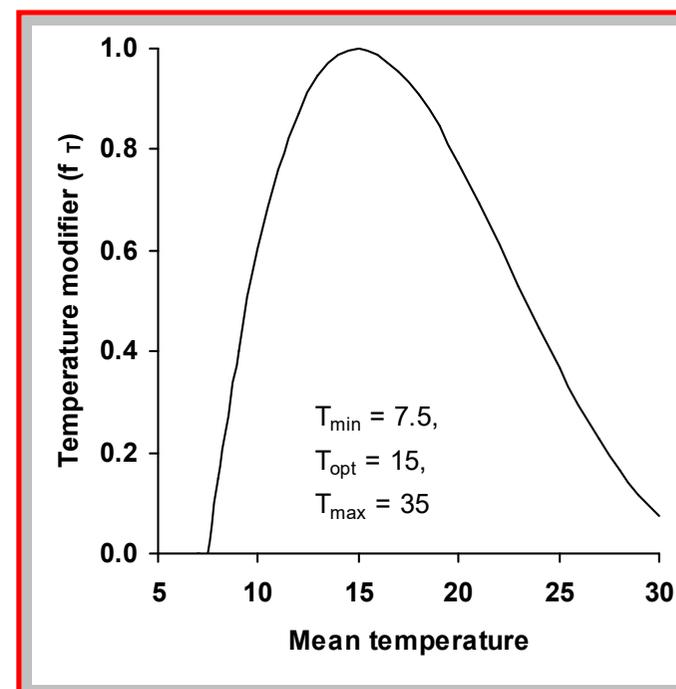
Donde

T_a = Temperatura diaria media mensual..

T_{min} = Temperatura Mínima de Crecimiento

T_{opt} = Temperatura Optima de Crecimiento

T_{max} = Temperatura Máxima de Crecimiento



$$a_c = f_t f_f f_{fr} f_s f_{ca} f_{age} \min\{f_d, f_\theta\}^\alpha C_x$$

Modificadores Ambientales al Cambio Climático
Modificador del crecimiento asociado al agua disponible
en el suelo

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{1 + \left[(1 - Asw / \max Asw) / SWconst \right]^{SWpower}}$$

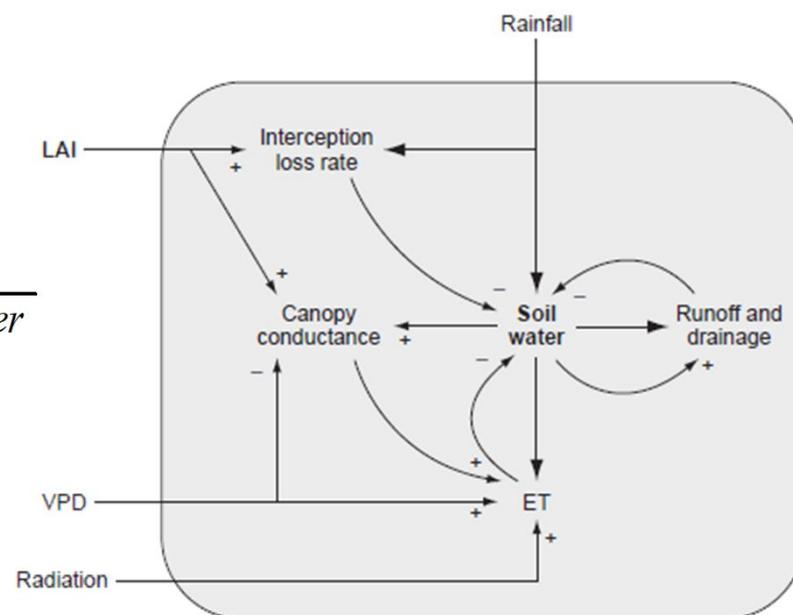
Donde

Asw = Agua disponible en suelo actual

MaxAsw = Máxima Agua disponible en el suelo

SWconst = Déficit hídrico relativo para una reducción del 50%

SWpower=potencia que determina la forma de respuesta del agua en el suelo



Modificadores Ambientales al Cambio Climático

Alteración de la conductancia estomática producto del incremento en CO₂ en la atmósfera

$$f_{Cg}(C\alpha) = \frac{f_{cg0}}{1 + (f_{cg0} - 1)C\alpha / 350}$$

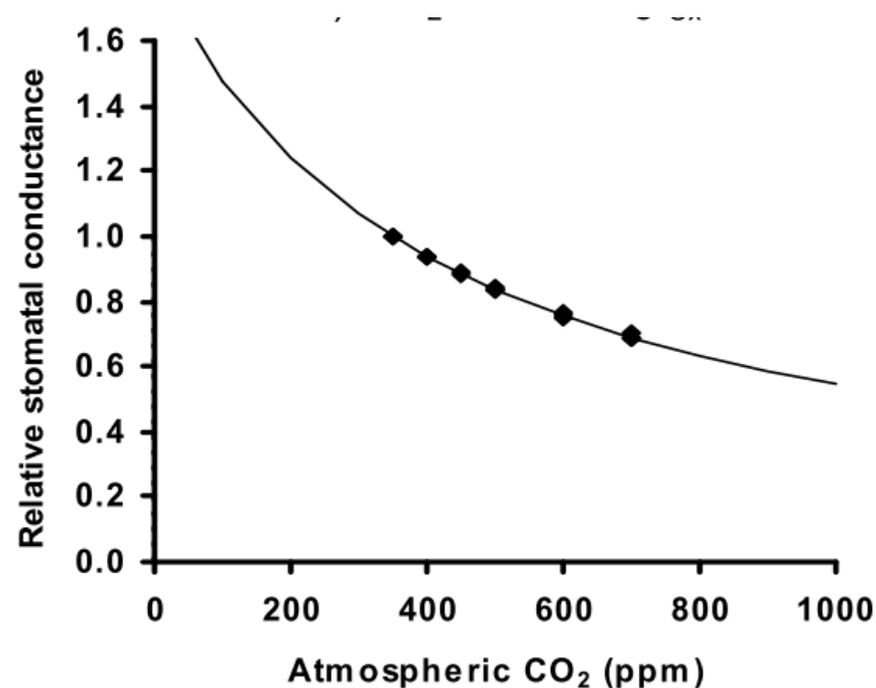
$$f_{Cg0} = \frac{f_{gx700}}{2f_{gx700} - 1}$$

Donde

Ca = Concentración de CO₂

f_{cg0} = valor de f_{Cg0} cuando CO₂ Ca es 0.

Para Eucaliptus, Almeida (2009) determinó $f_{Cg700} = 0.69$



Cambio Climático Modificadores Ambientales
Modificador del crecimiento asociado a CO₂

$$f_{C\alpha}(C\alpha) = \frac{f_{cax} C\alpha}{350(f_{cax} - 1) + C\alpha}$$

$$f_{Cax} = \frac{f_{cax700}}{2 - f_{cax700}}$$

Donde

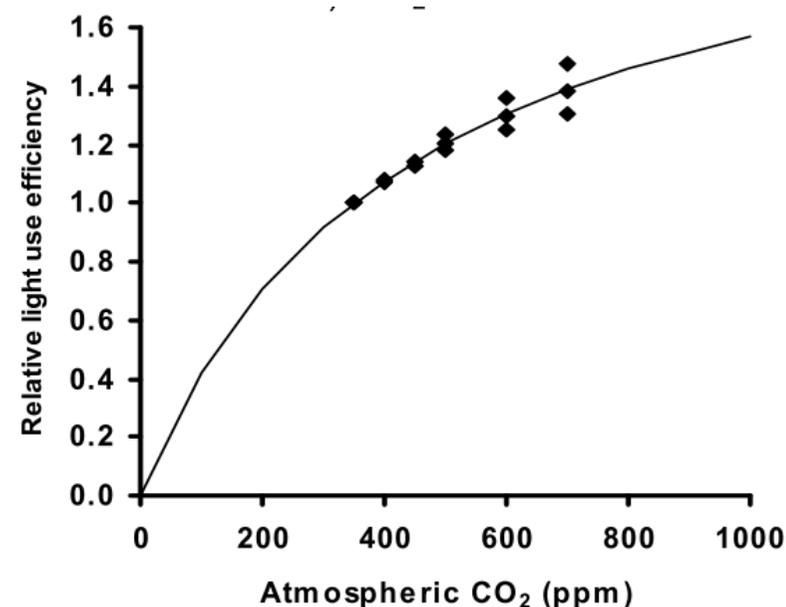
C α = Concentración de CO₂

f_{Cax} = valor de saturación para altos niveles de C α .

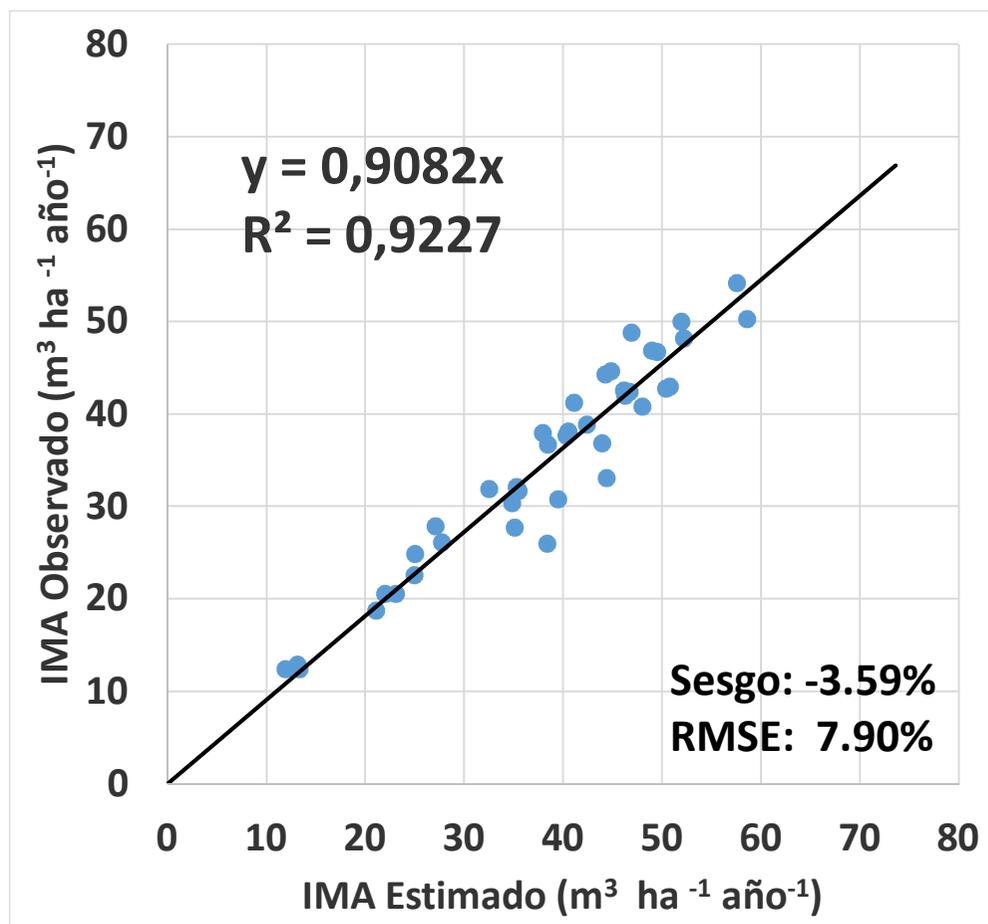
350 y 700 son niveles mínimos y máximos de CO₂

Para Eucaliptus, Almeida (2009) determinó $f_{C\alpha700} = 1.39$

$$a_c = f_t f_f f_{fr} f_s f_{C\alpha} f_{age} \min\{f_d, f_\theta\} \alpha Cx$$

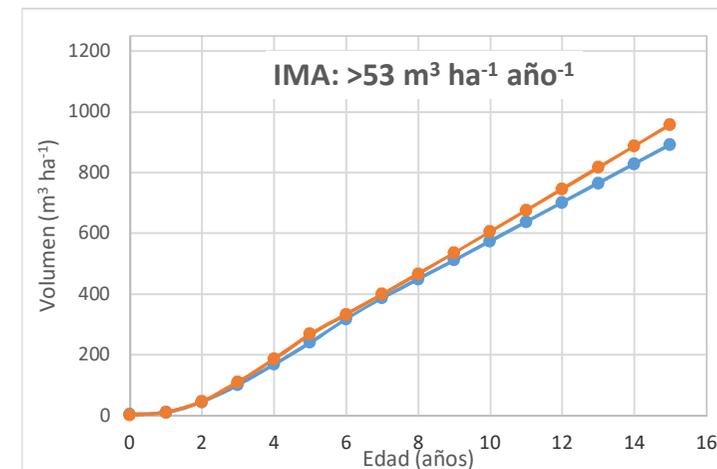
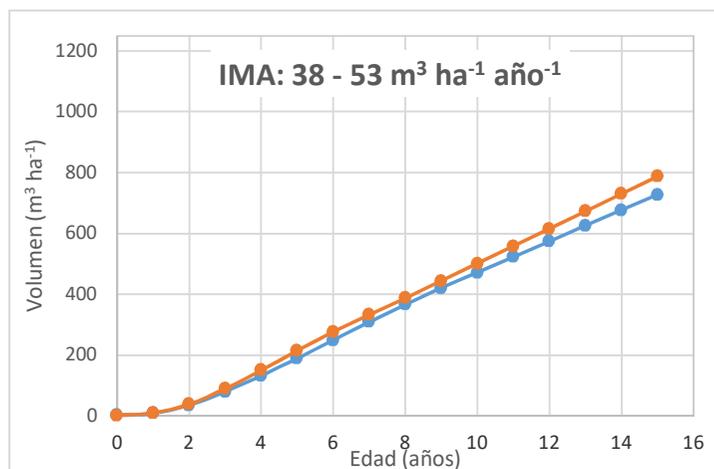
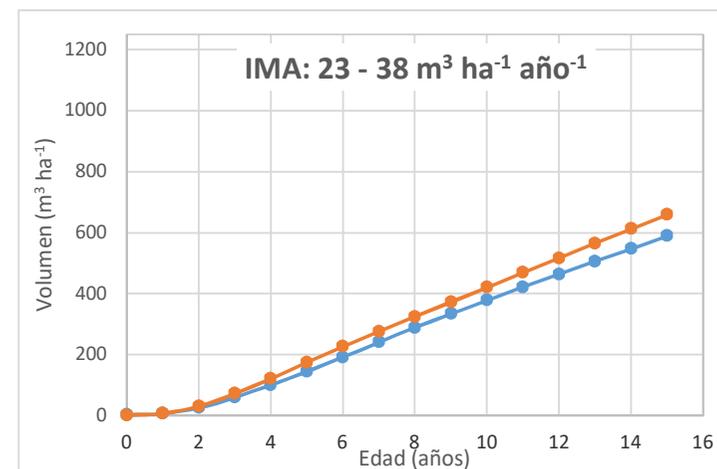
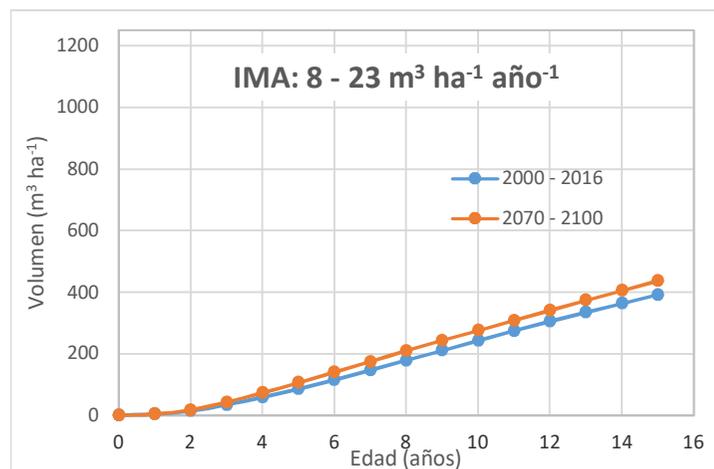


Validación de parámetros
para *Eucalyptus nitens*
(Rodríguez et al., 2009)



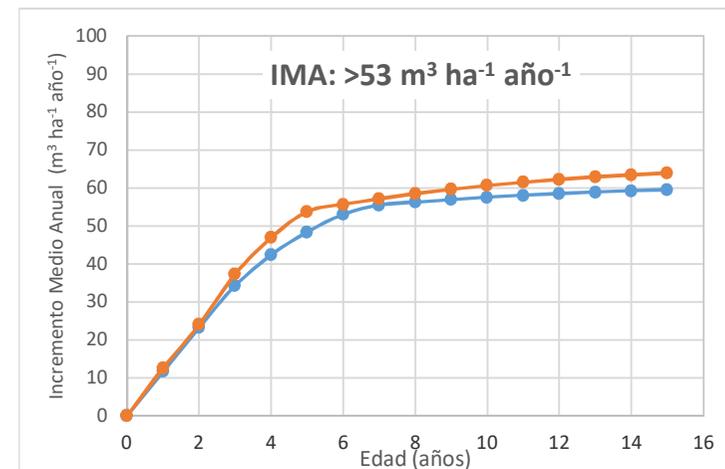
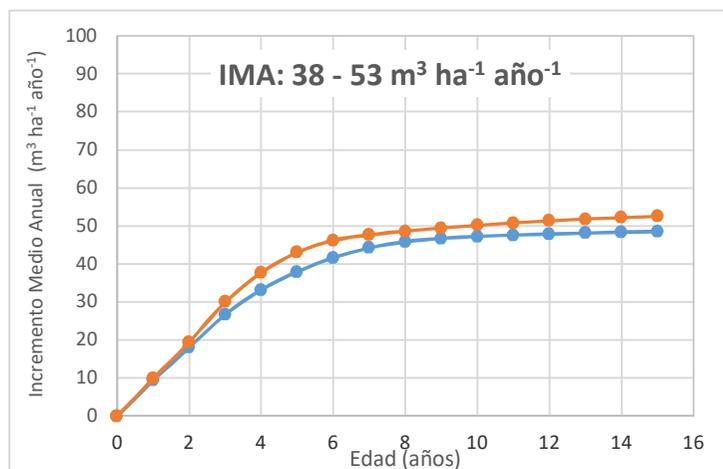
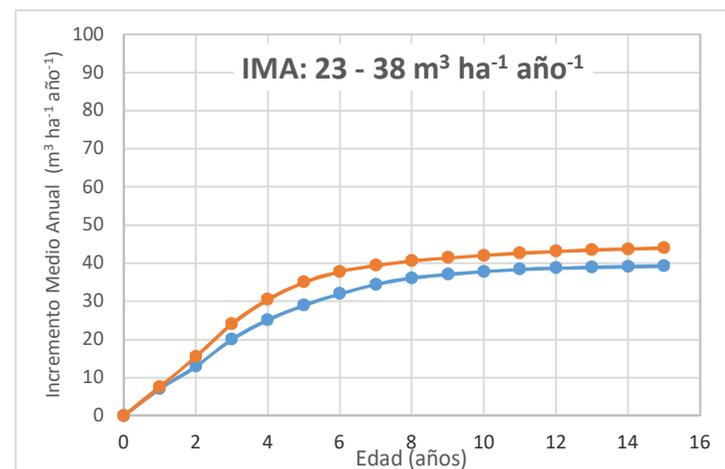
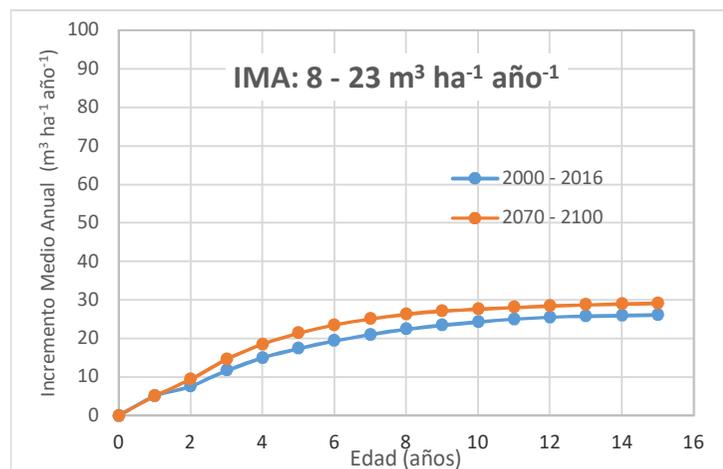
RESULTADOS

Crecimiento en
volumen y rango de
productividad



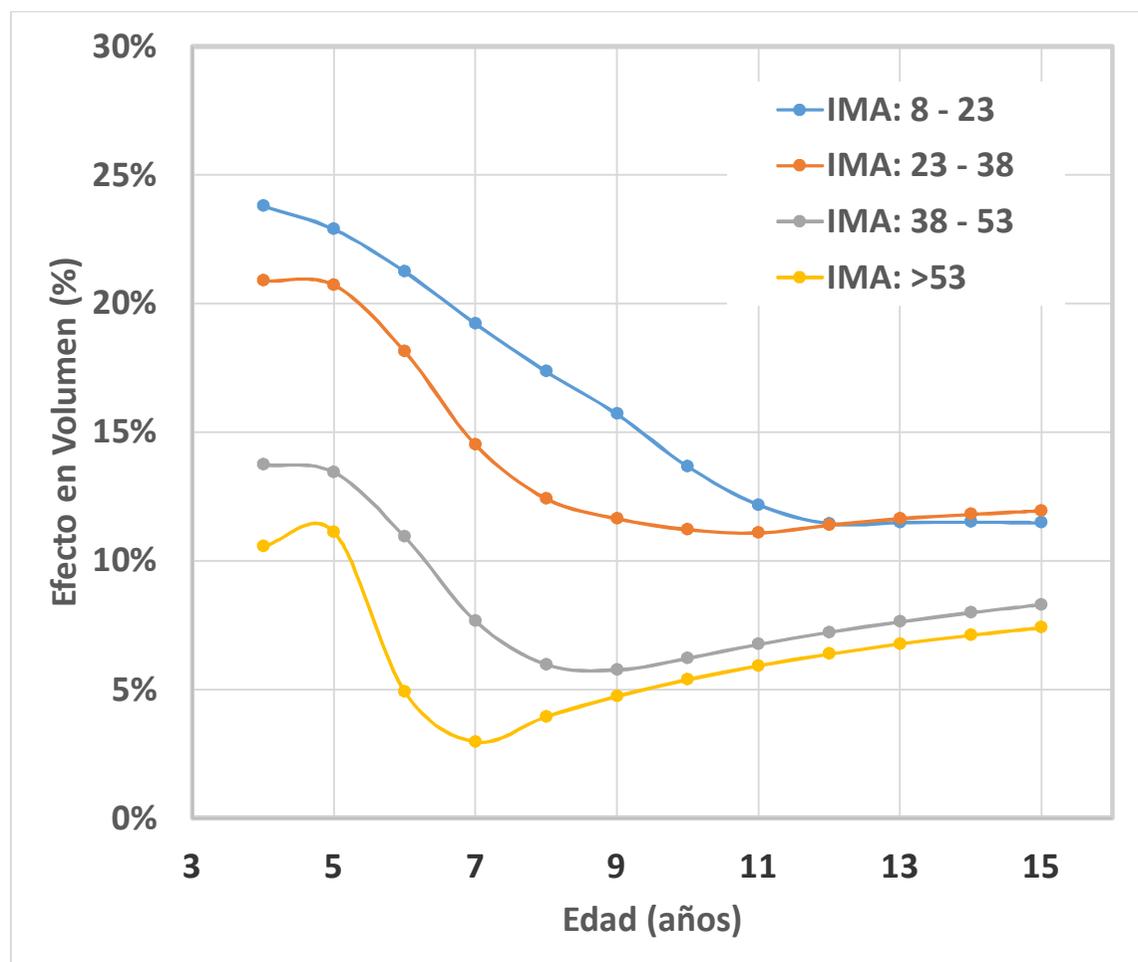
RESULTADOS

Incrementos en
volumen edad y rango
de productividad



RESULTADOS

Comparación del
volumen por edad y
productividad.



DISCUSIÓN

Efecto del cambio climático en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* en la Costa atlántica de Brasil (Almeida et al., 2009). El estudio consideró tres períodos climáticos con diferentes concentraciones de CO₂: el escenario histórico de 360 ppm, mientras que para los años 2030 y 2050, se estimaron en 450 ppm y 520 ppm, respectivamente. Se utilizó el modelo ecofisiológico 3-PG.

Con los climas de 2030 y 2050, en promedio la productividad de los bosques puede aumentar en el orden de 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en 2030, y a 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para el año 2050, correspondiente a incrementos de 17% y 26%, respectivamente en comparación con el período previo al cambio climático.

DISCUSIÓN

La eficiencia en el uso del agua aumenta en promedio de $1,0 \text{ g MS kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ para el año 2030 y $1,7 \text{ g MS kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ en 2050 en comparación con el escenario histórico, que es equivalente a un aumento del 29% y 51% en eficiencia en el uso de agua, respectivamente.

De los 49 trabajos que analizaron los niveles de productividad forestal en relación al cambio climático, 37 mostraron una tendencia positiva al aumento de la productividad, cinco una tendencia negativa, tres reportaron tanto efectos positivos negativos si se consideran diferentes períodos de tiempo, uno informó un resultado positivo y no hay una tendencia clara en las diferentes zonas geográficas analizadas y dos informaron que no hubo ninguna tendencia.

(Boisvenue y Running, 2011)

CONCLUSIONES

- En este estudio hemos incorporado los efectos del incremento de CO₂ en la predicción del crecimiento, bajo condiciones de cambio climático. Aunque los factores ambientales importantes de la producción serán menos favorables en 2070 y 2100, nuestra modelación sugiere que estos efectos pueden ser compensados por el efecto beneficioso del incremento de CO₂ en la producción de biomasa.
- En este trabajo no se consideró la interrelación entre la fertilidad del suelo y la capacidad de los rodales para utilizar el incremento de CO₂ por su reconocida complejidad.
- En nuestro estudio determinamos que en condiciones de cambio climático, se espera un incremento en productividad del orden del 10% (m³ ha⁻¹) y los incrementos medios anuales en volumen serán mayores en los sitios menos productivos.