



Manual para el uso del prototipo de simulador de crecimiento de bosques nativos Pellín

V 1.00

Christian Salas-Eljatib^{1,2,3,*}, Joaquín Riquelme¹,
Nicolás Pino¹, Renato Cifuentes¹, Pablo J. Donoso⁴

¹ Centro de Modelación y Monitoreo de Ecosistemas, Universidad Mayor, Santiago, Chile.

² Depto de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

³ Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

⁴ Instituto de Bosques y Sociedad, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

* Autor de correspondencia: cseljatib@gmail.com

Santiago, Chile

20 de mayo de 2022

Índice

1. Entradas	3
2. Salidas	7
2.1. Árboles simulados	7
2.2. Tabla de crecimiento	7
2.3. Tabla de rodal y existencias	8
2.4. Curvas de crecimiento	8
2.5. Distribución diamétrica	9
Appendices	11
A. Reconocimiento a proyectos científico-técnicos y personas	12

Contexto

Pellín es un prototipo de simulador de crecimiento para bosques naturales, desarrollado en el marco del proyecto FONDEF No. ID19 | 10421 “*Desarrollo de un prototipo de simulador de crecimiento de bosque nativo para apoyar la toma de decisiones en contexto de cambio climático*”, y basado fundamentalmente en casi dos décadas de trabajo de un grupo de investigadores ligados a la biometría y modelación forestal, silvicultura, y manejo de bosques nativos. Este trabajo se ha nutrido de diversas fuentes de financiamiento científico, como lo son una serie de proyectos del programa FONDECYT (Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de Chile) y en menor grado por proyectos del FIBN (Fondo de Investigación del Bosque Nativo). Mayores antecedentes de estos proyectos se encuentran en §A.

Pellín es un prototipo de simulador que se basa en un modelo de crecimiento a nivel individual independiente de la distancia y edad de los árboles. A partir de una lista que individualiza los árboles presentes en una unidad de superficie (e.g., parcela de muestreo), su ubicación geográfica, y basado en un sistema de ecuaciones matemático-estadísticas, *Pellín* permite simular variables de estado y estructura del bosque (o rodal) en el tiempo, con una capa de visualización y despliegue informático.

Pellín es un sistema computacional para el análisis del crecimiento de bosques nativos de Chile. Al predecir la estructura de bosques, permite ser una herramienta de apoyo para la toma de decisiones silviculturales y de conservación de bosques nativos. La versión actual está adaptada para bosques secundarios dominados por *Nothofagus obliqua*, *N. alpina*, y/o *N. dombeyi* en el centro-sur de Chile. Los detalles científico-técnicos del modelo de crecimiento pueden ser revisados en Salas-Eljatib *et al.* (2022).

Es el objetivo del presente documento describir los pasos necesarios para ejecutar y desplegar el prototipo de simulador, explicando tanto los elementos necesarios para iniciar una simulación y las consideraciones generales de soporte informático, como también las salidas que ofrece. Estas últimas son constituidas por elementos visuales e información tabular que puede ser descargada.

1. Entradas

Al momento de iniciar *Pellín* se desplegará una interfaz gráfica (Fig. 1).

Pellin: Un simulador de crecimiento de bosque nativo

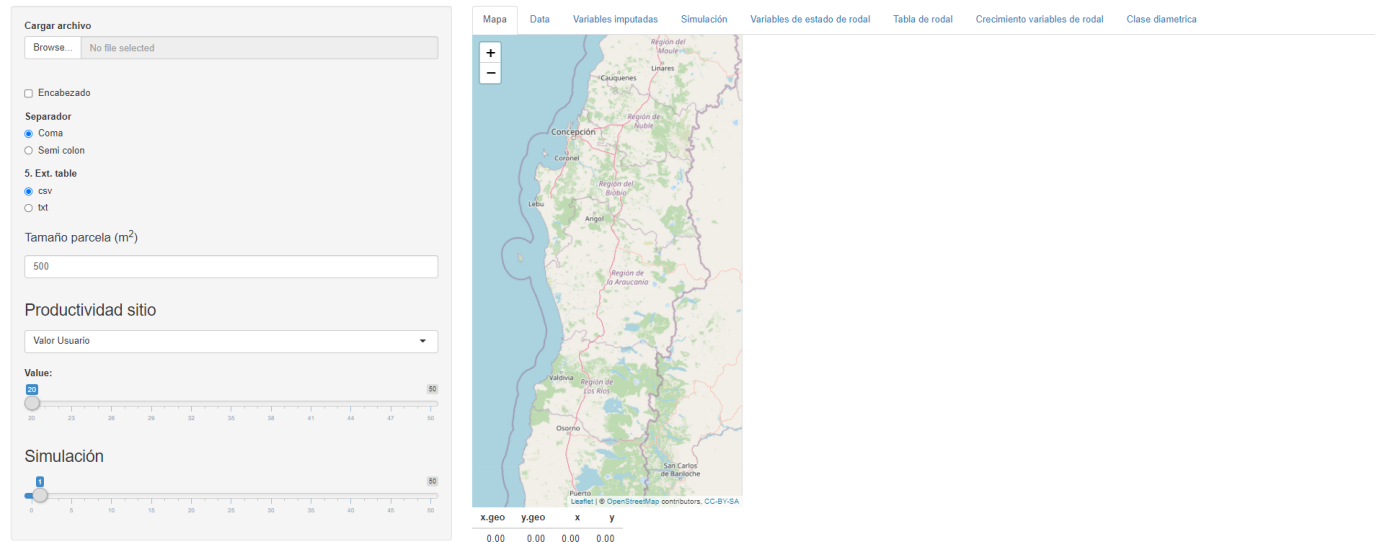


Figura 1: Interfaz de inicio al prototipo de simulador *Pellín*.

Los elementos necesarios para llevar a cabo una simulación en *Pellín* son:

- Lista de árboles
- Productividad
- Horizonte de simulación

A continuación se detalla cada uno de estos elementos.

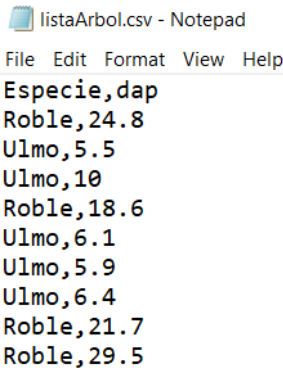
a. Lista de árboles

Pellín require datos de un bosque, el cual se ingresa como una lista de árboles conteniendo tan sólo dos columnas: **Especie** y **dap**, donde la primera corresponde al nombre común de la especie¹ y la segunda al diámetro del fuste (en cm) medido a los 1.3 m de altura sobre el suelo. Esta lista de árboles debe estar almacenada en un archivo con formato de datos

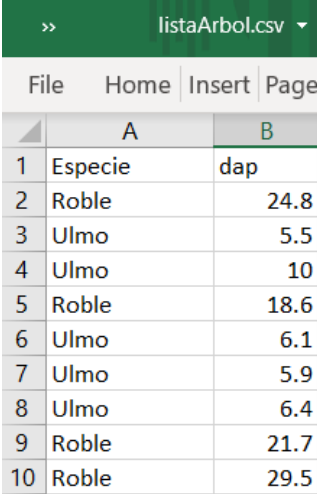
¹ Deben ser especies nativas.

separados por (a) coma o (b) punto y coma, con la extensión **csv** o **txt**. El archivo debe contener las dos columnas anteriores (Fig. 2). Además de la lista de árboles se debe proveer la superficie (en m²) de la parcela de muestreo en la cual se encuentran los individuos de la lista de árboles que fueron medidos.

(a)



(b)



	A	B
1	Especie	dap
2	Roble	24.8
3	Ulmo	5.5
4	Ulmo	10
5	Roble	18.6
6	Ulmo	6.1
7	Ulmo	5.9
8	Ulmo	6.4
9	Roble	21.7
10	Roble	29.5

Figura 2: Representación de un archivo con la lista de árboles. En (a) se visualiza un archivo de datos **csv** en el editor Notepad de Microsoft Windows, y en (b) como se observa en Microsoft Excel.

Es importante destacar que la cantidad mínima de árboles que debe contener la lista de árboles es de 30. De la misma manera, se debe considerar que el diámetro mínimo es de 5 cm.

b. Productividad

El modelo de crecimiento requiere especificar el nivel de productividad del sitio donde se encuentra el bosque a simular. Existen diversos indicadores de productividad empleados en ciencias forestales (Stage & Salas, 2007; Skovsgaard & Vanclay, 2008), y el empleado en *Pellín* es el índice de productividad propuesto por Salas-Eljatib (2021) que depende de variables biogeoclimáticas. Estas variables se segregan en: topográficas (i.e., altitud, exposición y pendiente), climáticas (i.e., temperatura media anual, variabilidad de la precipitación, y precipitación en la temporada más calida) y de habitat (i.e., pisos vegetacionales de Luebert & Plischoff, 2006). Tal como lo explica Salas-Eljatib (2021), para simplificar el uso del índice y hacerlo similar al concepto de índice de sitio², se puede expresar como la altura dominante

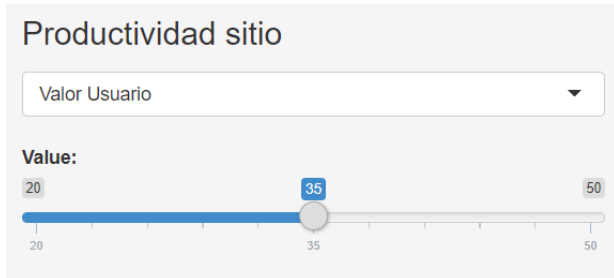
² la altura dominante a una edad clave

de los árboles dominantes de un bosque a los 50 años. Para esto, *Pellín* ofrece las siguientes dos alternativas (Fig. 3).

1. Valor usuario: indicar el valor del índice de productividad. En general, un valor de 20 m es bajo, 30 m es medio y 40 m es alto.
2. Ingresar coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator): Corresponde a las coordenadas UTM³ en metros.

Para la segunda alternativa, *Pellín* tiene ya incorporado la cobertura ráster respectiva, por lo que basta con indicar las coordenadas UTM del bosque a simular.

(a)



(b)




Figura 3: Selección de alternativas de productividad. En (a) se indica el valor de la altura dominante a los 50 años, y en (b) se ingresan las coordenadas UTM en metros.

³ WGS84, Huso 18.

Note que es posible seleccionar en el mapa de *Pellín* interactivamente (Fig. 4) la ubicación geográfica y se desplegarán las coordenadas UTM que deben ser ingresadas por el usuario en los campos destinados para ello.

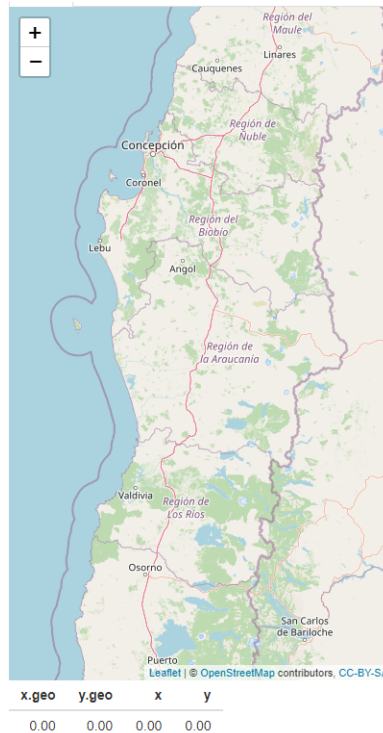


Figura 4: Mapa interactivo que permite obtener coordenadas UTM. El campo **x** indica la coordenada UTM Este y el campo **y** indica la coordenada UTM Norte.

c. Horizonte de simulación

Finalmente sólo queda especificar el número de años a simular, es decir, a partir del momento que la lista de árboles fue obtenida, hasta cuantos años más se desea proyectar el crecimiento del bosque. El máximo es 50 años.

Luego de definidas las entradas necesarias por el usuario, este debe ir a la segunda pestaña (Fig. 5), y verificar si los datos de la lista de árboles fueron cargados correctamente. Por ejemplo es importante revisar el número total de árboles, que las especies esten correctamente leídas, y así también los datos de la columna de los diámetros.

Mapa	Data	Variables imputadas
Productos	Clase diametrica	
Especie	dap	
Roble	24.80	
Ulmo	5.50	
Ulmo	10.00	
Roble	18.60	
Ulmo	6.10	
Ulmo	5.90	
Ulmo	6.40	
Roble	21.70	
Roble	29.50	

Figura 5: Visualización de los datos cargados en el sistema *Pellín*. Acá es importante que el usuario verifique que los datos se cargaron correctamente.

2. Salidas

2.1. Árboles simulados

La primera salida para el usuario en una lista de árboles con información del diámetro, altura y volumen de cada individuo para todos los años simulados. Esta lista se descarga en formato *csv*.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tiempo	tree.id	Especie	estado	Tolerance	dap	H	V
2	1	1	Arrayanmacho	Vivo	Shade-tolerant	24.8502715934831	7.81389497403048	0.113694904317729
3	1	10	Roble	Vivo	Shade-intolerant	7.42946123465181	24.0461301897874	0.0480992263769991
4	1	11	Roble	Vivo	Shade-intolerant	11.9852767446343	25.5418943174339	0.127316565397662
5	1	12	Roble	Vivo	Shade-intolerant	9.35600557423434	17.58587166143	0.0554339550741285
6	1	13	Roble	Vivo	Shade-intolerant	13.5976046381871	21.0795809219107	0.134897196428295
7	1	14	Roble	Vivo	Shade-intolerant	6.31219609767169	12.991515303441	0.0195275818119384
8	1	15	Roble	Vivo	Shade-intolerant	29.4150655403143	14.4331328932626	0.411279992055663
9	1	16	Roble	Vivo	Shade-intolerant	14.0012762693568	21.1395854934368	0.143057575794573

Figura 6: Lista de árboles simulados generada por el prototipo de simulador.

2.2. Tabla de crecimiento

Pellín resume las variables de estado de rodal en el tiempo, o también denominada crecimiento o trayectoria de variables (Salas-Eljatib *et al.*, 2021). Las variables de estado son: densidad (N) en arb/ha, área basal (G) en m^2/ha , diámetro medio del árbol de área basal media (d_g) en cm, volumen total (V), altura media (H_{med}), altura dominante (H_{dom}) y diámetro dominante (D_{dom}).

Mapa	Data	Variables imputadas			Simulación	Variables de estado de rodal		
Tiempo	N	G	QMD	V	Hmed	Hdom	Ddom	
1.00	1380.00	33.78	17.65	205.62	16.50	26.39	32.55	
2.00	1340.00	32.80	17.65	196.10	16.65	26.44	32.61	
3.00	1320.00	32.02	17.57	194.34	16.85	26.60	32.71	
4.00	1300.00	32.15	17.74	196.29	16.91	26.75	32.96	
5.00	1280.00	31.37	17.66	192.11	17.05	26.90	33.03	
6.00	1260.00	31.48	17.83	193.23	17.04	26.87	33.27	
7.00	1240.00	31.60	18.01	194.58	17.03	26.80	33.52	
8.00	1220.00	31.36	18.09	192.47	17.06	26.91	33.74	
9.00	1200.00	31.16	18.18	191.32	17.10	27.05	33.97	

Figura 7: Tabla de crecimiento de variables de estado de bosque (rodal) en el tiempo.

2.3. Tabla de rodal y existencias

En esta salida existe la opción de variar la amplitud de clase de la tabla de rodal, además de seleccionar un año en particular a revisar.

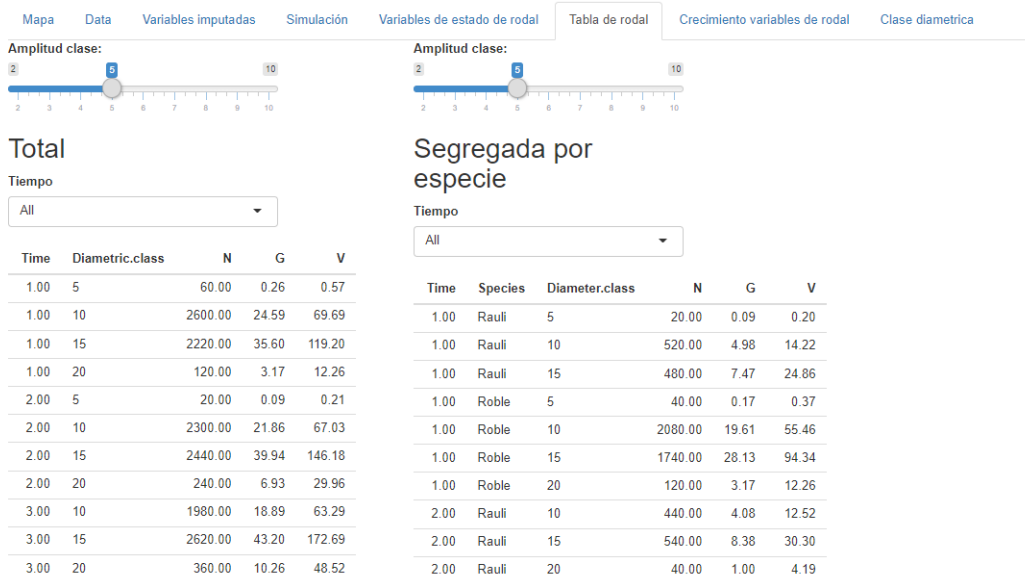


Figura 8: Tablero habilitado en el prototipo de simulador para la tabla de rodal y existencias.

2.4. Curvas de crecimiento

Salida gráfica donde se visualiza el comportamiento de las variables de interés, en el tiempo determinado por el usuario.

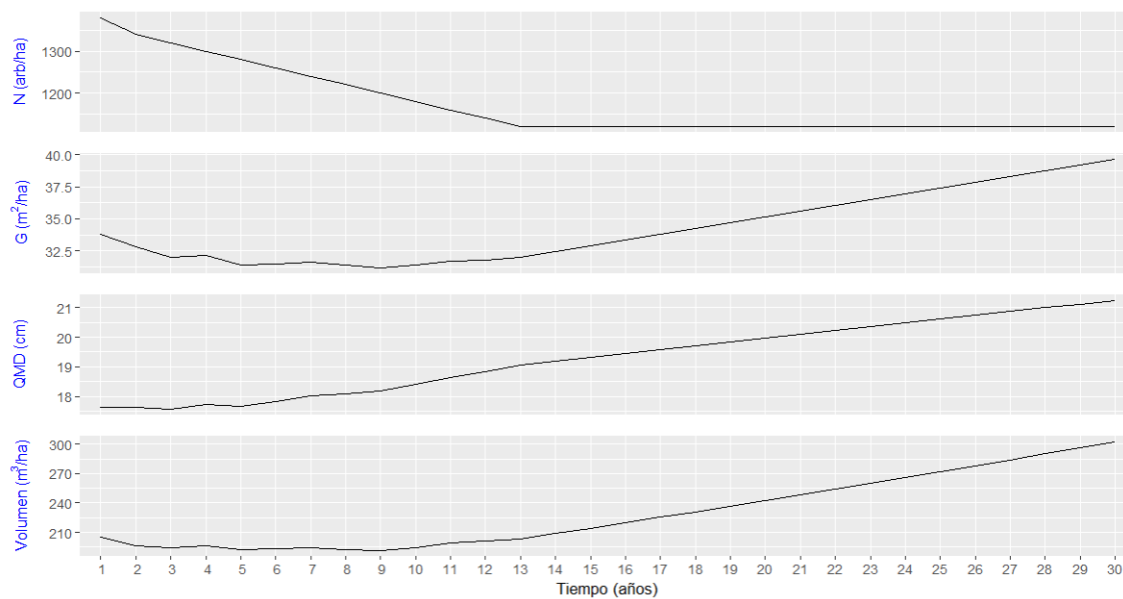


Figura 9: Sección donde se visualizan las curvas de desarrollo de las variables de estado.

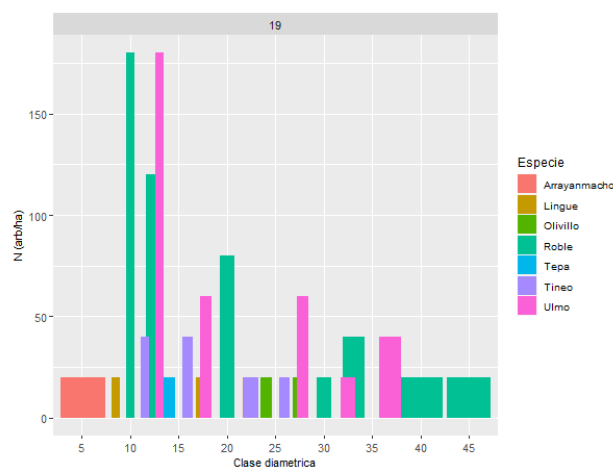
2.5. Distribución diamétrica

El usuario puede comparar la distribución diámetrica por especie en un año determinado.

Primer periodo

Tiempo:

19



Segundo periodo

Tiempo:

30

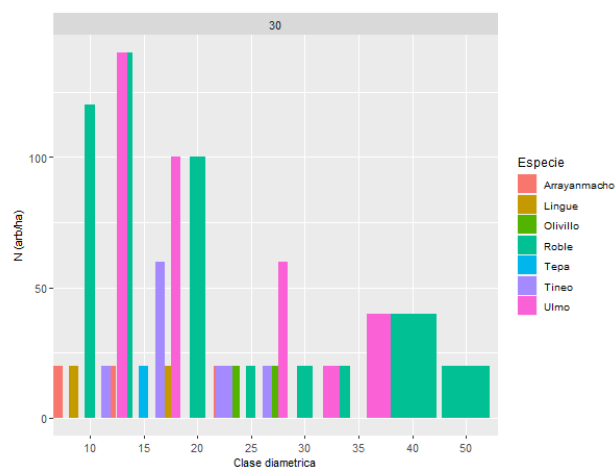


Figura 10: Gráficos de distribución diámetrica para cinco especies en dos periodos distintos.

Referencias

- Luebert F, P Plissock. 2006. Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 316 p.
- Salas-Eljatib C. 2021. An approach to quantify climate-productivity relationships: an example from a widespread *Nothofagus* forest. *Ecological Applications* 31(4):eap.2285.
- Salas-Eljatib C, L Mehtätalo, TG Gregoire, DP Soto, R Vargas-Gaete. 2021. Growth equations in forest research: Mathematical basis and model similarities. *Current Forestry Reports* 7:230–244.
- Salas-Eljatib C, J Riquelme, N Pino, R Cifuentes, PJ Donoso. 2022. Descripción del modelo de crecimiento de bosques nativos pellín. Informe Técnico No. 1, Santiago, Chile.
- Skovsgaard JP, JK Vanclay. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1):13–31.
- Stage AR, C Salas. 2007. Interactions of elevation, aspect, and slope in models of forest species composition and productivity. *Forest Sci.* 53(4):486–492.

Anexos

A. Reconocimiento a proyectos científico-técnicos y personas

Diversos proyectos y personas han contribuido en mayor o menor medida al trabajo de modelación de más de 15 años que permite contar con el prototipo de simulador *Pellín*.

Proyectos

Respecto a los proyectos existen algunos que han sido fundacionales en el sentido que fueron ideados desde sus bases para nutrir a un modelo de crecimiento de bosque nativo. Estos proyectos se detallan a continuación:

- **2020–2023.** Proy. FONDECYT⁴ No. 1191816 *Modelling mixed-species forests: accounting for ecological and climatic drivers in forest growth*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.
- **2019–2021.** Proy. FONDEF⁵ No. IDEA I+D No. ID19|10421 *Desarrollo de un prototipo de simulador de crecimiento de bosque nativo para apoyar la toma de decisiones en contexto de cambio climático*. Director: Dr. Christian Salas.
- **2015–2019.** Proy. FONDECYT No. 1191816 *A growth model for second-growth Nothofagus forests: merging statistical and modelling approaches for quantifying forest dynamics*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.
- **2011–2014.** Proy. FONDECYT No. 11110270 *Hybrid growth modelling: integrating physiological processes and forest conditions with tree growth within a changing climate framework*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.
- **2011–2012.** Proy. DIUFRO⁶ No. DI11-0018 *Análisis espacial y temporal del crecimiento y mortalidad de árboles en un bosque adulto de roble-laurel-lingue-olivillo*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.
- **2002–2003.** Proy. DIUFRO No. 110201 *Ajuste de modelos estimadores de edad y crecimiento en diámetro para las especies arbóreas del predio Rucamanque*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.

⁴ Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, Gobierno de Chile.

⁵ Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, Gobierno de Chile.

⁶ Dirección de Investigación, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Otro grupo importante de proyectos, centrados en diversos aspectos silviculturales y de ecología de bosques nativos, han sido ideados para proveer datos que serán de uso en diversas mejoras a desarrollar en el futuro de *Pellín*. Estos proyectos se mencionan a continuación:

- **2021–2024.** Proy. FONDECYT No. 1210147 *Resilience of productivity and biodiversity of managed Valdivian temperate rainforests across successional stages*. Investigador principal: Dr. Pablo Donoso.
- **2015–2019.** Proy. FONDECYT No. 1191816 *Variable-density thinning to enhance growth, heterogeneity and biodiversity: a stepping stone to achieving sustainable forest management in second-growth forests?*. Investigador principal: Dr. Pablo Donoso.
- **2011–2014.** Proy. FONDECYT No. 1110744 *Silviculture to promote old-growth forest attributes: effects of ecological thinnings on second-growth forests in south-central Chile*. Investigador principal: Dr. Pablo Donoso.
- **2010–2012.** Proy. FIBN⁷ No. 068/2010 *Remediación y sistematización de información cuantitativa de parcelas permanentes en bosques de segundo crecimiento de roble, raulí y coigüe*. Investigador principal: Dr. Christian Salas.

Finalmente, hay un grupo de proyectos que también han servido para diferentes fines en el presente trabajo, como lo son:

- **1976–1980.** Proy. CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003 *Estudio de raleo y otras técnicas para el manejo de renovales de raulí (Nothofagus alpina) y roble (Nothofagus obliqua)*. Investigador principal: Prof. Mario Puente (QEPD).

Personas

Varios colegas han gentilmente cedido datos que han servido para el desarrollo de los componentes que son parte del simulador. Estas personas se detallan a continuación:

- Dr. Hans Grosse, Instituto Forestal.
- Prof. Patricio Nuñez, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- Dra. Alicia Ortega, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Pablo Gajardo, Corporación Nacional Forestal, Chile.

⁷ Fondo de Investigación del Bosque Nativo, Gobierno de Chile.