

Modelos de predicción de biomasa a nivel de rodal en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Zona centro sur de Chile

SEPTIEMBRE DE 2023

Alejandro Miranda, Blas Mola, Víctor Hinojosa.

Contenidos

Contenidos	1
Introducción.....	2
Metodología	2
Manual de Usuario	3
Resultados	4
Anexos	6
1. Curvas de crecimiento Eucalyptus Globulus.....	6
2. Curvas de crecimiento Pinus Radiata	9
3. Zonas de crecimiento Eucalyptus globulus.....	16
4. Zonas de crecimiento Pinus radiata	17

Introducción

En el presente informe, se presentan modelos de crecimiento forestal a nivel de rodal para plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*. Estos fueron elaborados para sectores costeros y de la cordillera de la costa de las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule y del Biobío.

En este documento, en primer lugar, se describe la metodología utilizada para el desarrollo del modelo, incluyendo los datos empleados, las ecuaciones ajustadas y los criterios de selección. En segundo lugar, se expone el manual de usuario, en el cual se describen los términos utilizados en los resultados. En tercer lugar, se presentan los resultados obtenidos, mostrando los coeficientes estimados, las curvas de crecimiento generadas y los indicadores de bondad de ajuste. Para terminar, se discuten las implicancias y limitaciones del modelo, así como las posibles mejoras y aplicaciones futuras.

Metodología

El objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo para predecir la biomasa a nivel de rodal en función de la edad, para las especies *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*. Para ello, se ajustaron diferentes modelos no lineales para cada especie, siguiendo la siguiente ecuación general:

$$B_t = \alpha \cdot E^\beta + \gamma$$

Ecuación 1.

Dónde:

B_t : Biomasa Total

E : Edad

α, β, γ : Coeficientes del modelo

Los modelos se definieron según diferentes características de las plantaciones, que se consideraron como factores de variación. En el caso de *Eucalyptus globulus*, los factores fueron: zona geográfica, índice de sitio y densidad inicial de árboles. En el caso de *Pinus radiata*, los factores fueron: zona geográfica, tipo de manejo y condición del sitio. Se obtuvieron diferentes combinaciones de niveles de estos factores para cada especie, lo que resultó en un total de **20** modelos para *Eucalyptus globulus* y 14 modelos para *Pinus radiata*.

Los coeficientes de cada modelo se estimaron utilizando el método de mínimos cuadrados no lineales con algoritmo de Levenberg-Marquardt, implementado en la función `nlsLM` del paquete `minpack.lm` del software estadístico R. Los datos utilizados para el ajuste de los modelos fueron obtenidos de tablas de rendimiento en biomasa aérea en pie en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en Chile, obteniendo datos de un total de 672 rodales, con una densidad media de 870 árboles por hectárea (Corvalán & Hernández, 2011, 2012).

Manual de Usuario

Para la comprensión de la información entregada en este documento, considere los siguientes conceptos (Corvalán & Hernández, 2011, 2012):

- **Zona** de crecimiento: Corresponde a la zona en Chile en la cual se emplaza el rodal. El número de estas depende de la especie, es decir, hay zonas de crecimiento para *Eucalyptus globulus* y para *Pinus radiata*. Es decir, zonas con el mismo número en ambas especies pueden tener localizaciones geográficas distintas (ver anexos 3 y 4).
- **Edad** del rodal: Es la cantidad de años transcurridos desde la plantación hasta el momento en que desea evaluar la biomasa aérea.
- **Densidad Inicial (n_{init})**: Corresponde a la densidad inicial de árboles por hectárea en el rodal, con edad de 0 años.
- **Índice de Sitio (SI)**: Se trata de la altura promedio de los árboles más gruesos a los 10 años de edad. Se calcula tomando la altura total de los 100 árboles con mayor DAP (Diámetro a la altura del pecho o 1,3 m sobre el nivel del suelo) por cada hectárea.
- **Manejo** aplicado al rodal: corresponde al esquema de manejo aplicado en el rodal, este puede corresponder a cualquiera de los siguientes:
 - *Pulpable*: Es el caso en que se ha raleado a desecho.
 - *Multipropósito*: Es el caso en que se ha podado y raleado en dos oportunidades.
 - *Intensivo 1*: Es el caso en que se ha podado tres veces y raleado en dos oportunidades.
 - *Intensivo 2*: Es el caso en que se ha podado dos o tres veces y raleado dos veces dependiendo de la calidad del sitio.
 - *Sin manejo*: cuando no se aplica ninguno de los anteriores.

- **Condición:** Es la condición que se encuentra el rodal relativa al esquema de manejo. Esta puede ser posterior a Raleo, o posterior a Poda y raleo.

Resultados

Los resultados pueden ser observados en los siguientes cuadros. Cabe recordar que los coeficientes expuestos en estos son los correspondientes al modelo presentado en la ecuación 1.

Cuadro 1: coeficientes de modelo no lineal para la estimación de biomasa según la edad de rodal para *Eucalyptus globulus*, según Zona, densidad inicial, índice de sitio, manejo y condición.

Zona	Densidad Inicial	Índice de sitio (SI)	Manejo	Condición	α	β	γ
1	800	24	NA	Sin Manejo	2.371	1.778	0.000
		26			2.371	1.778	0.000
		28			5.464	1.591	0.000
		30			7.709	1.519	0.000
		32			10.228	1.462	6.240
	1250	24			2.379	1.774	0.000
		26			3.794	1.666	0.000
		28			5.307	1.600	0.000
		30			7.779	1.513	0.000
		32			10.304	1.457	5.660
2	800	24			3.221	1.647	0.000
		26			3.612	1.656	0.000
		28			4.559	1.618	0.000
		30			5.926	1.567	0.000
		32			7.300	1.532	0.000
	1250	24			3.197	1.650	0.000
		26			3.729	1.645	0.000
		28			5.129	1.574	0.000
		30			6.201	1.547	0.000
		32			7.592	1.514	0.000

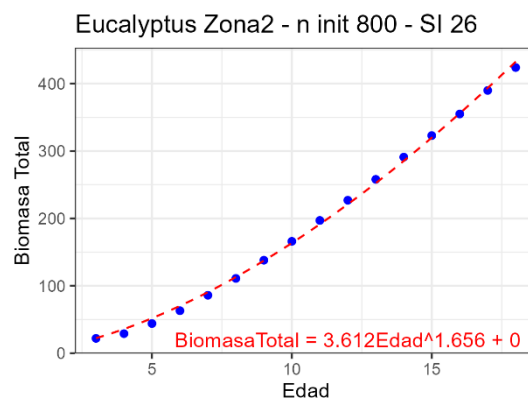
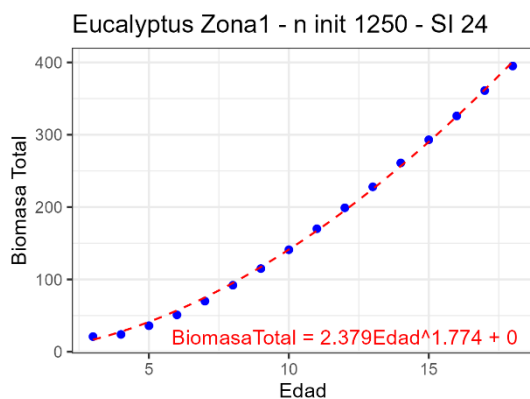
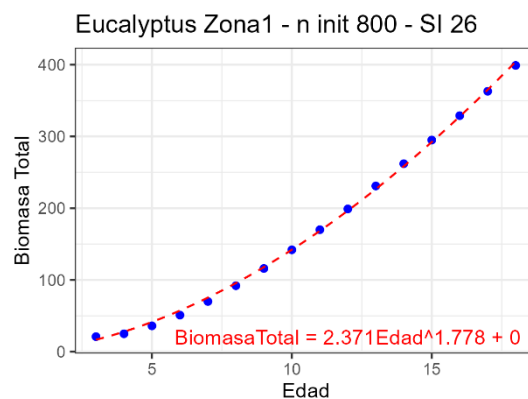
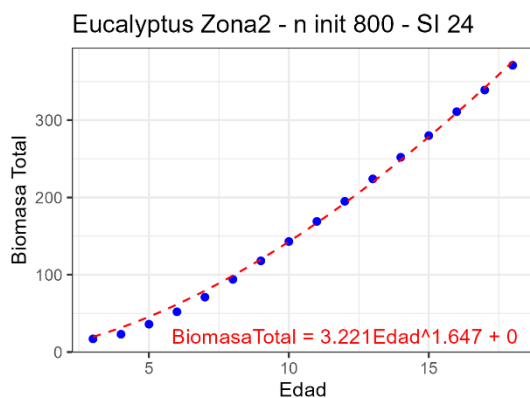
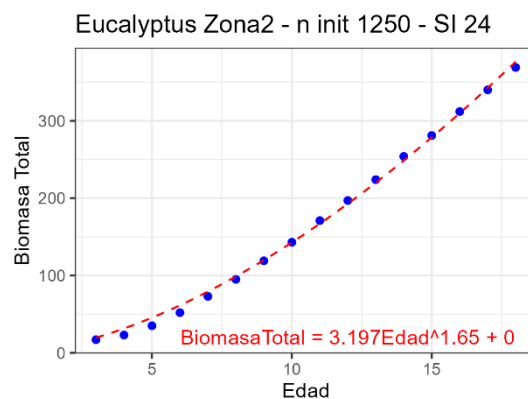
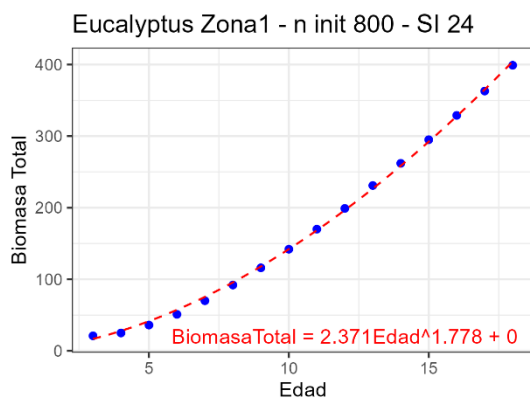
Cuadro 2: coeficientes de modelo no lineal para la estimación de biomasa según la edad de rodal para *Pinus radiata*, según Zona, densidad inicial, índice de sitio, manejo y condición.

Zona	Densidad Inicial	Índice de sitio (SI)	Manejo	Condición	α	β	γ
Z6	1250	32	Intensivo	Post Raleo 1250-700	0.421	2.253	3.485
Z7					0.576	2.044	3.968
Z6				Post Poda y Raleo 700-300	122.491	0.562	- 416.814
Z7					22.934	0.936	- 171.991
Z6		29	Intensivo2	Post Raleo 1250-700	0.421	2.253	3.485
Z7					0.070	2.850	7.522
Z6				Post Poda y Raleo 700-300	122.491	0.562	- 416.814
Z7					40.929	0.774	- 227.526
Z6		26	Multipropósito	Post Raleo 1250-700	0.069	2.791	1.441
Z7					0.047	2.905	8.454
Z6				Post Poda y Raleo 700-300	58.378	0.701	- 298.450
Z7					56.816	0.666	- 260.576
Z6		23	Pulpable	Post Raleo 1250-700	9.592	1.169	-97.246
Z7					20.852	0.844	- 103.893

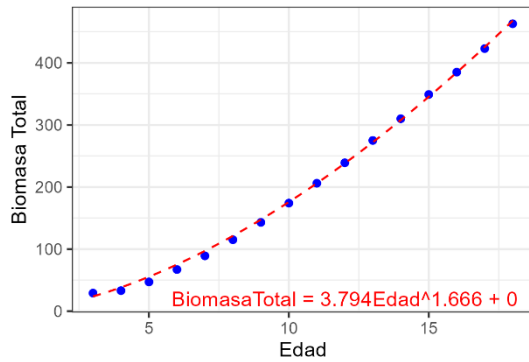
Las curvas de crecimiento obtenidas pueden ser observadas en los anexos 1 y 2. En estas, las curvas generadas por los modelos corresponden a líneas continuas de color rojo, y los puntos asociados a los datos reales están representados por círculos azules.

Anexos

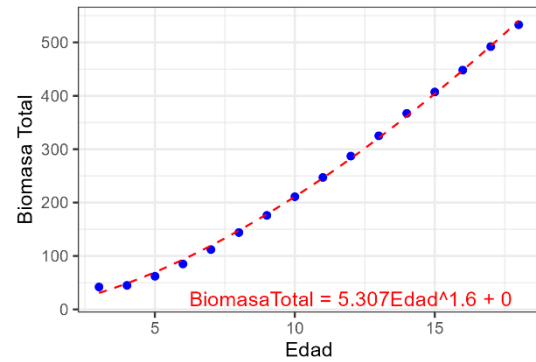
1. Curvas de crecimiento Eucalyptus Globulus



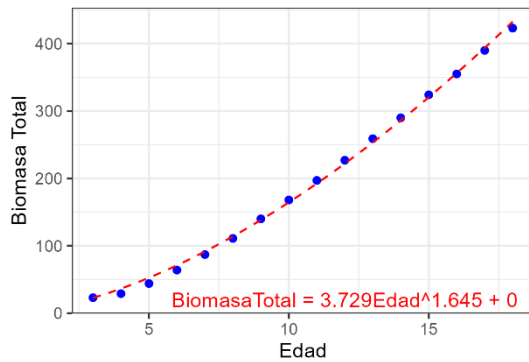
Eucalyptus Zona1 - n init 1250 - SI 26



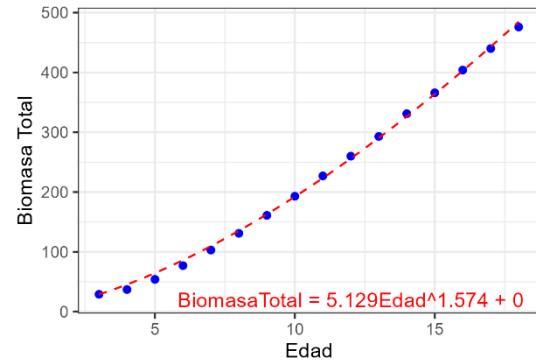
Eucalyptus Zona1 - n init 1250 - SI 28



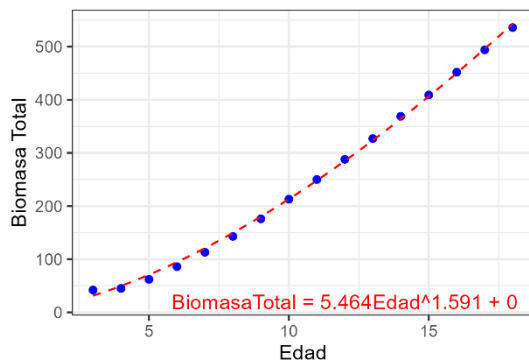
Eucalyptus Zona2 - n init 1250 - SI 26



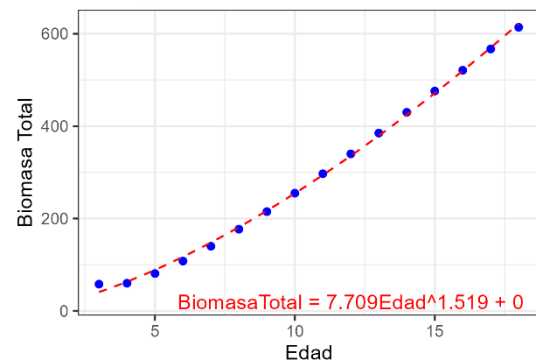
Eucalyptus Zona2 - n init 1250 - SI 28



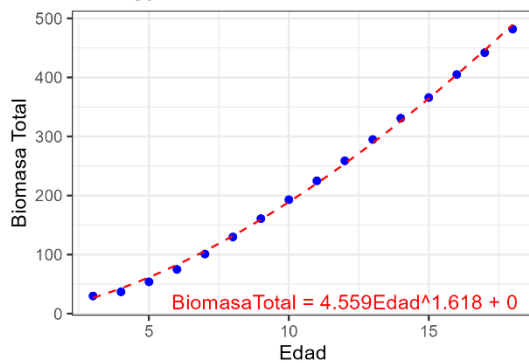
Eucalyptus Zona1 - n init 800 - SI 28



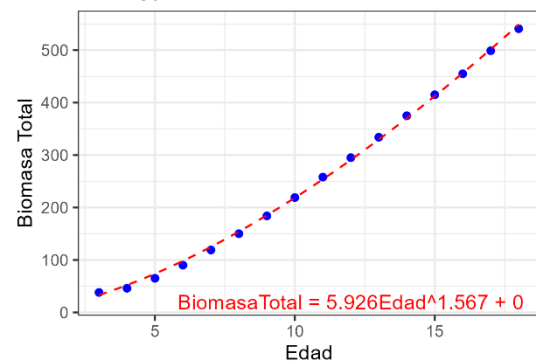
Eucalyptus Zona1 - n init 800 - SI 30

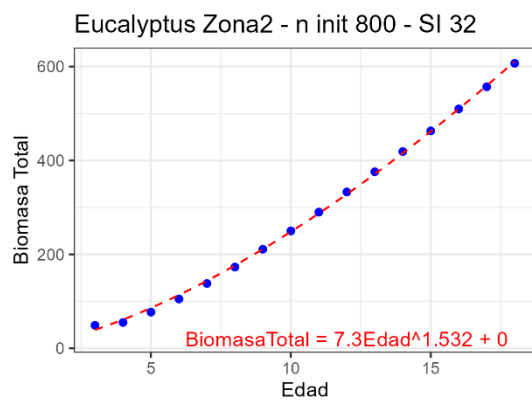
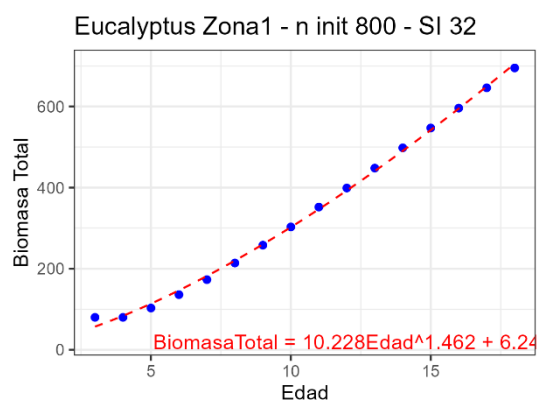
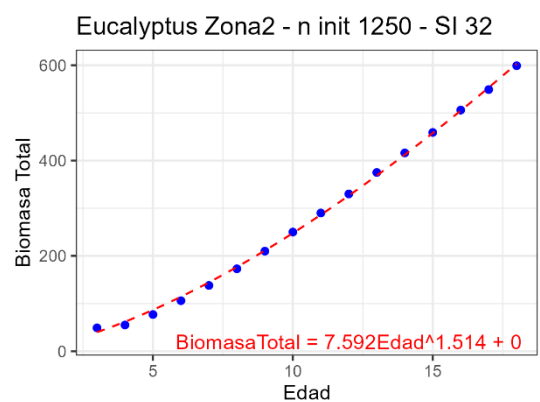
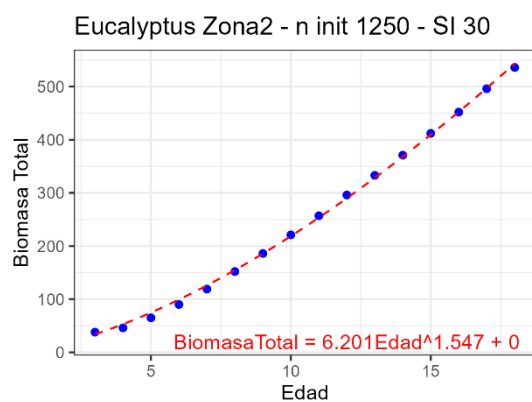
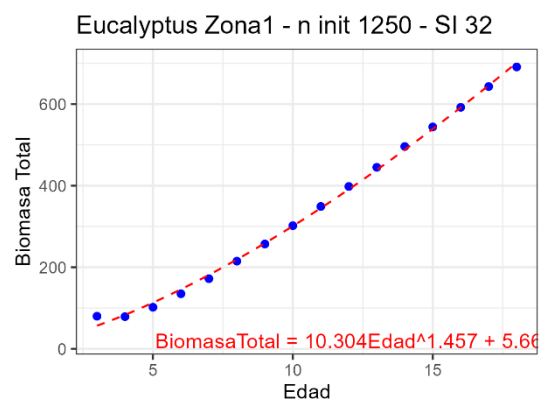
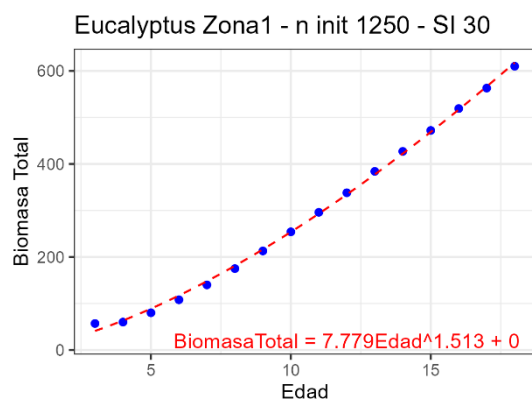


Eucalyptus Zona2 - n init 800 - SI 28

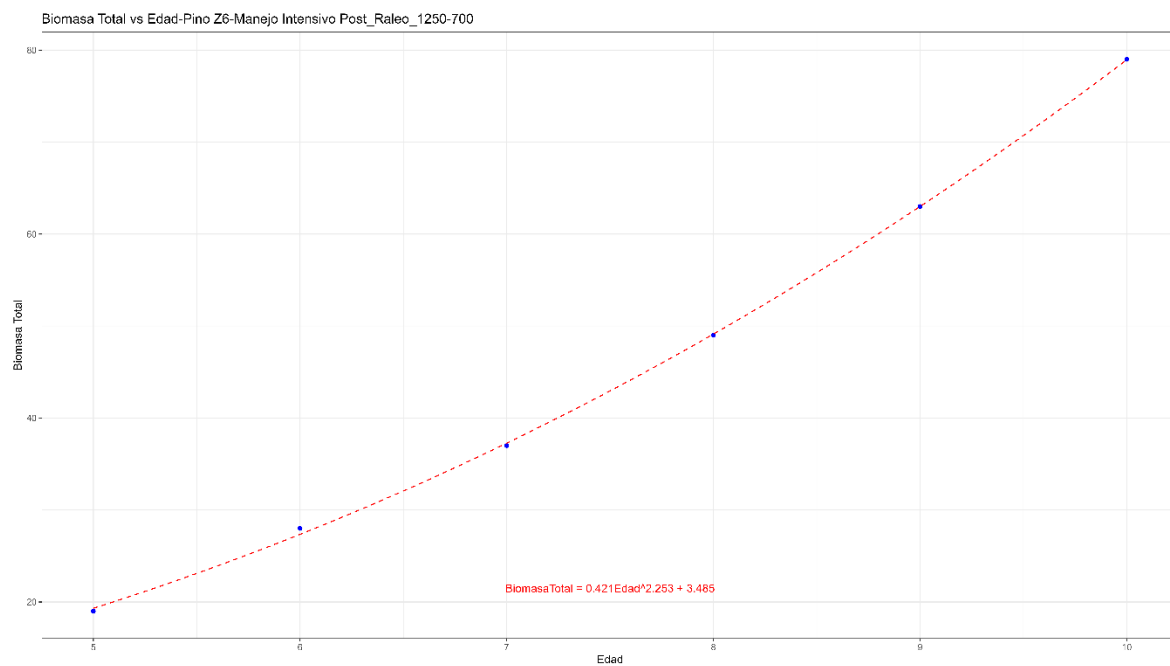
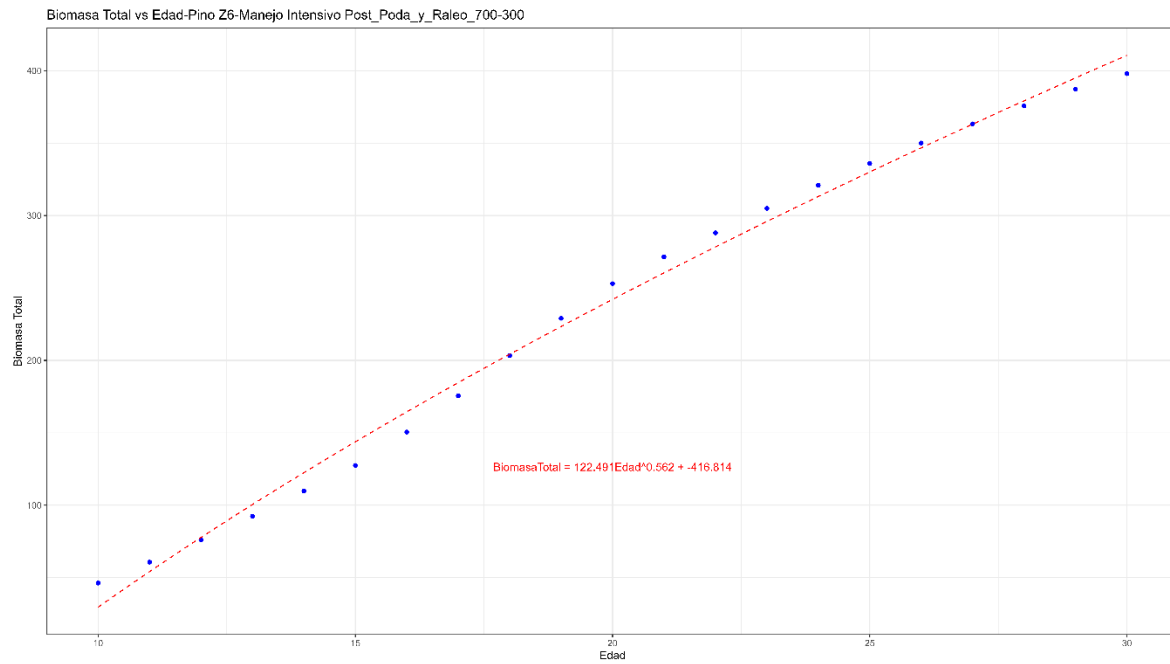


Eucalyptus Zona2 - n init 800 - SI 30

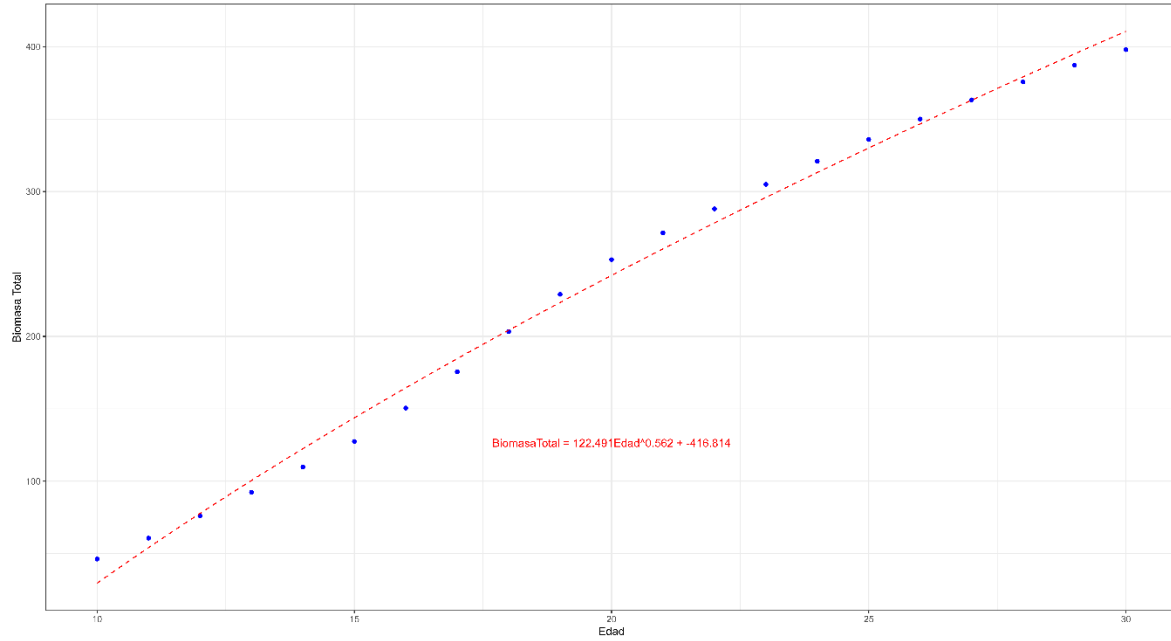




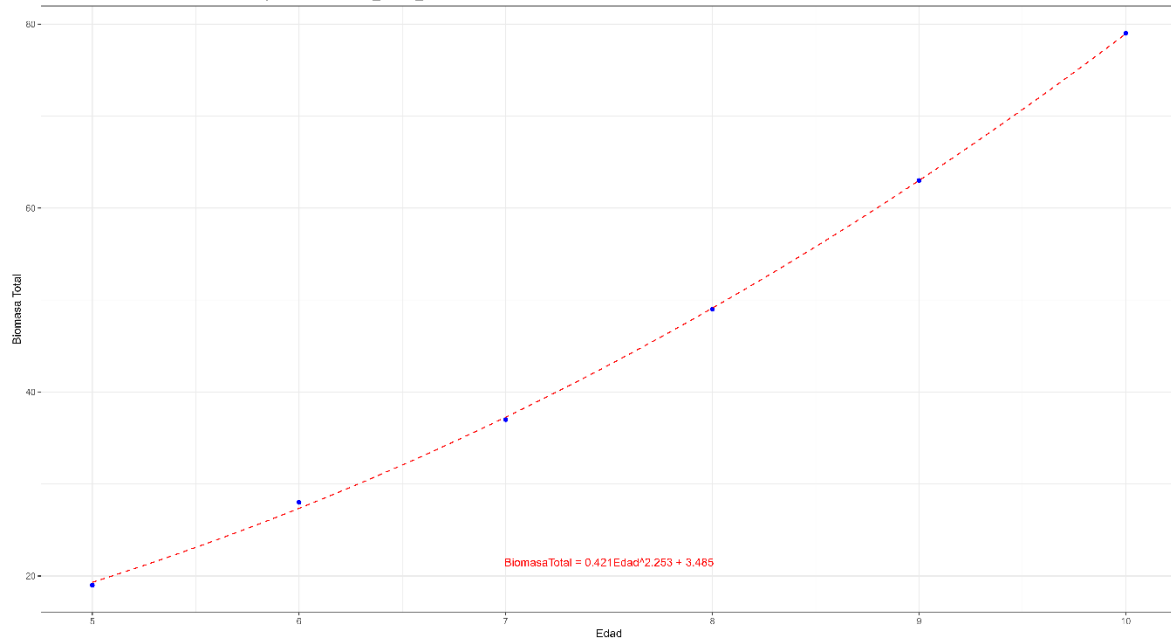
2. Curvas de crecimiento Pinus Radiata



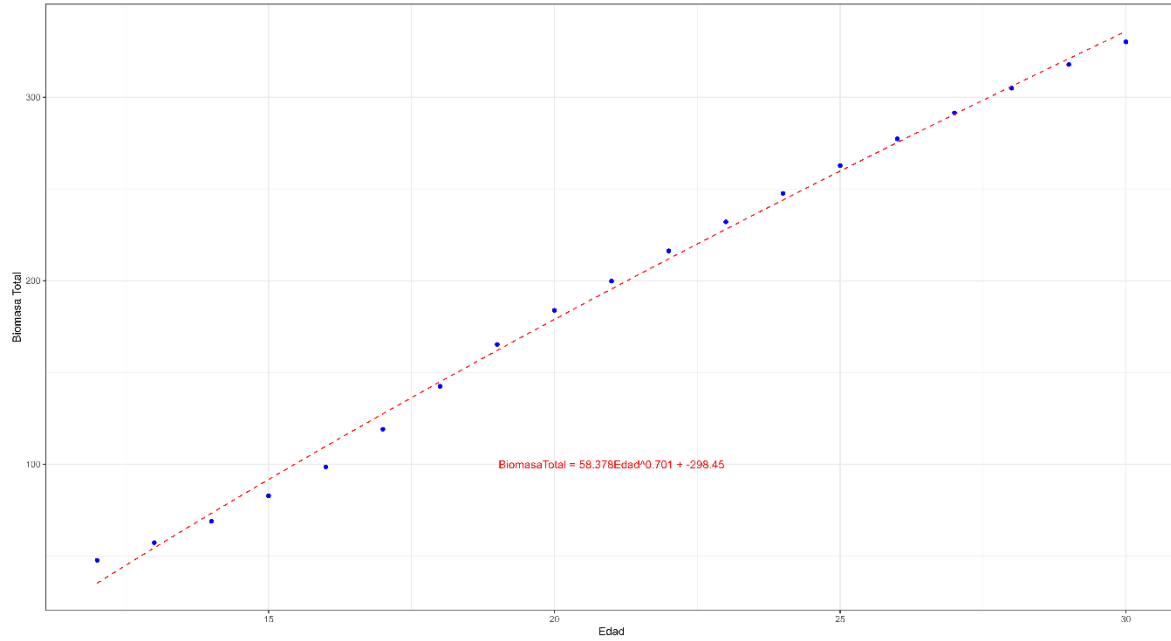
Biomasa Total vs Edad-Pino Z6-Manejo Intensivo2 Post_Poda_y_Raleo_700-300



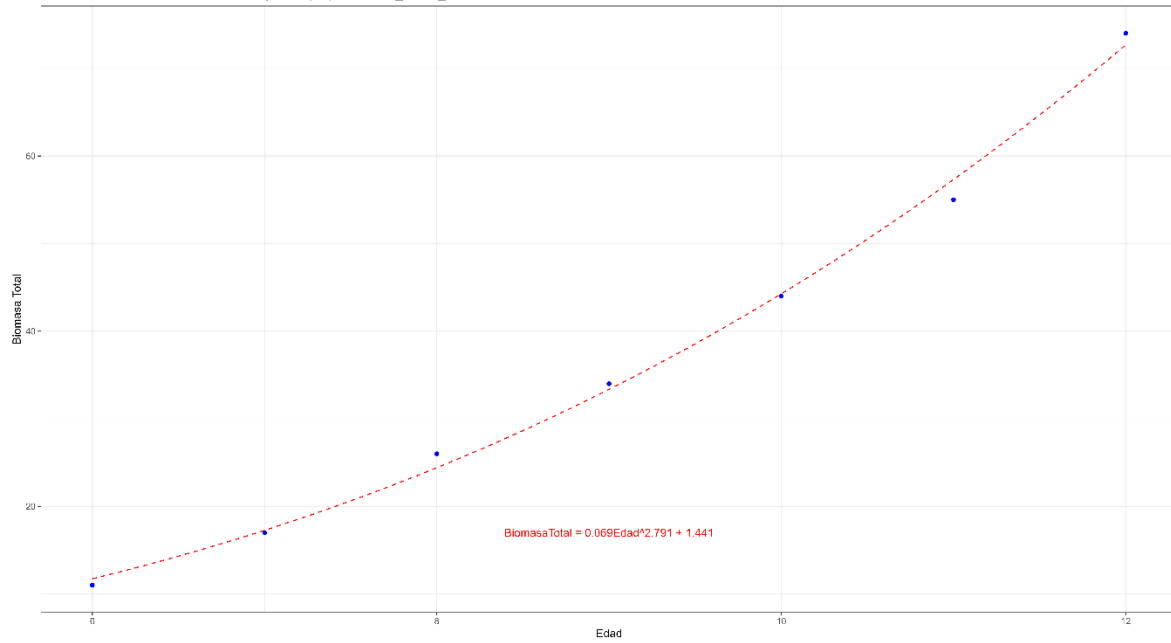
Biomasa Total vs Edad-Pino Z6-Manejo Intensivo2 Post_Raleo_1250-700

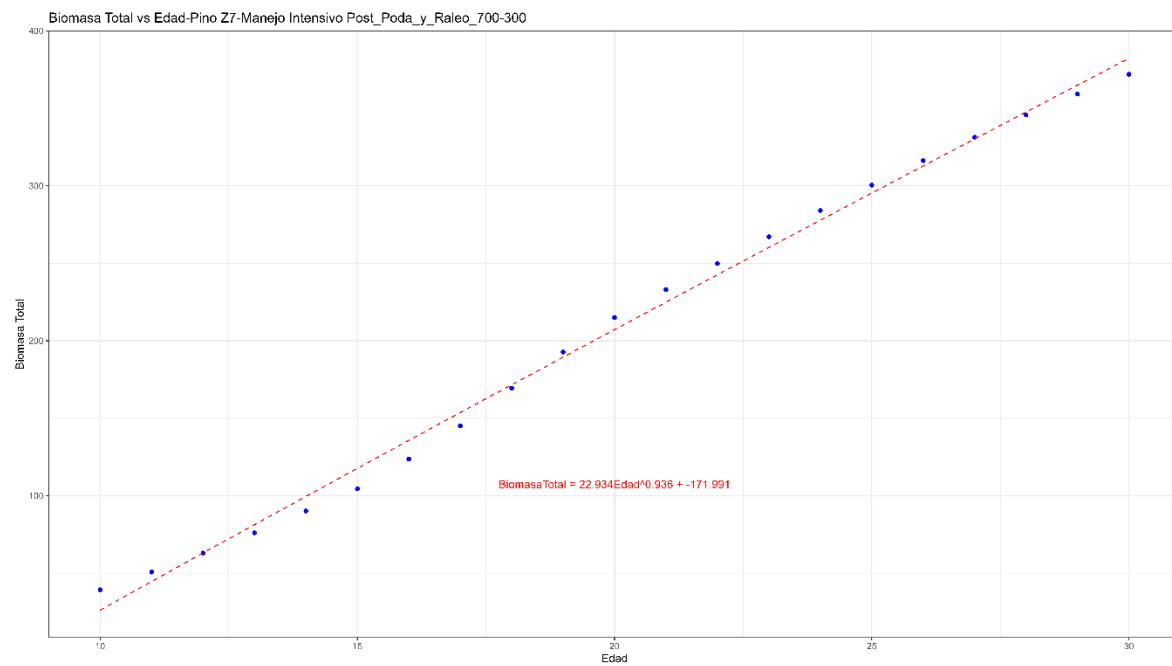
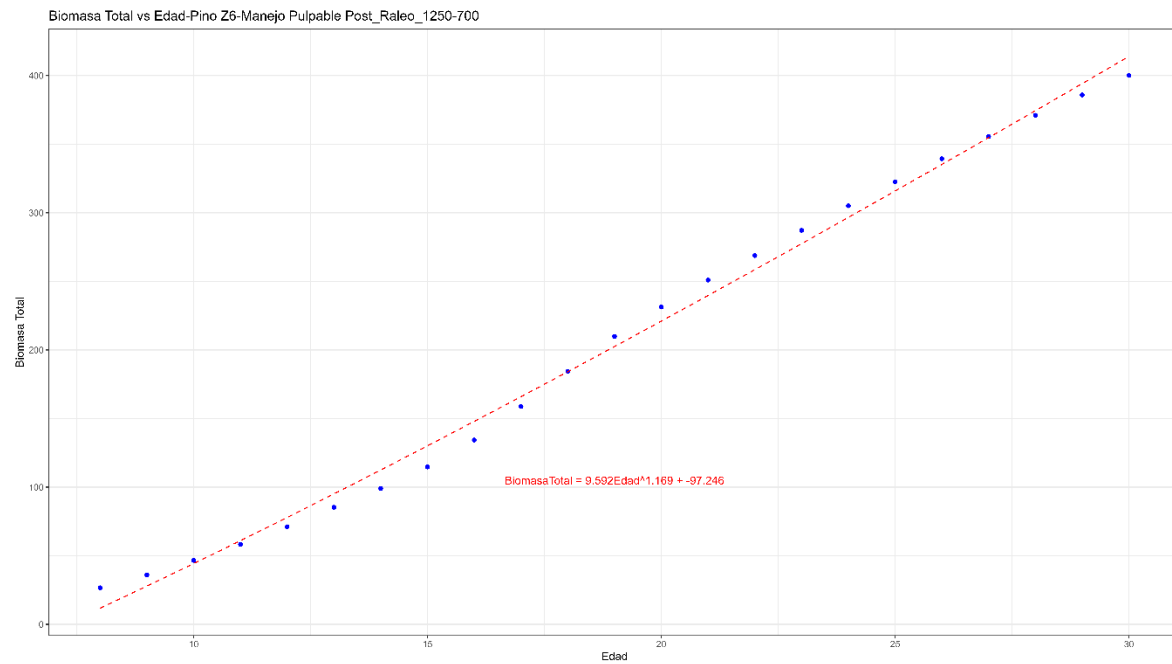


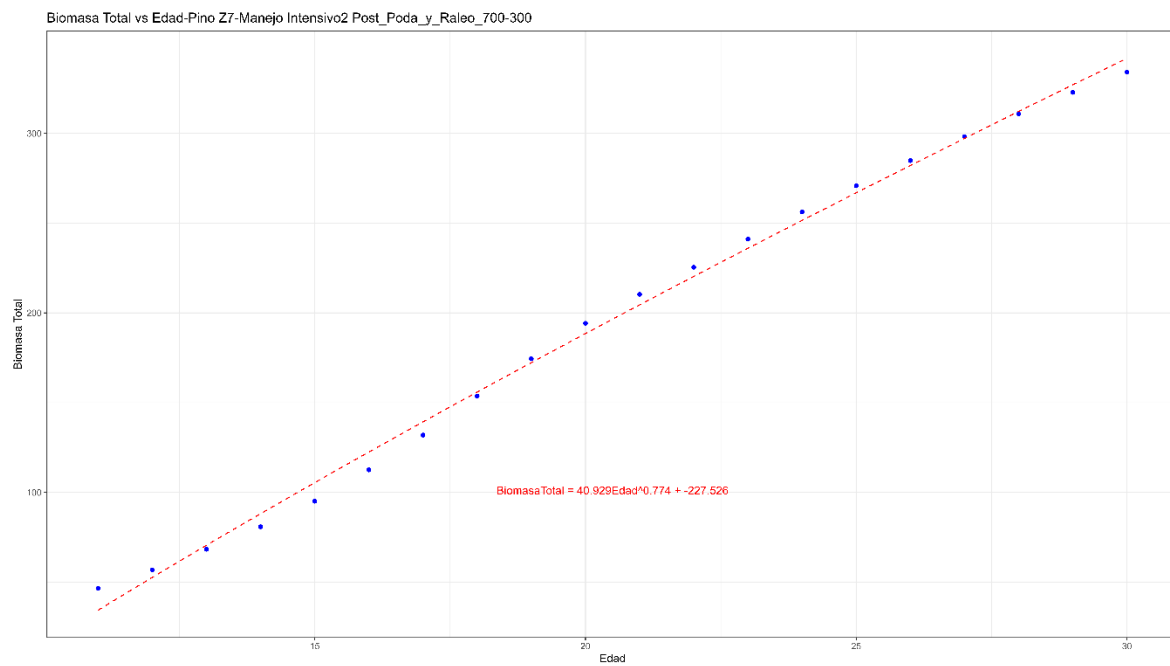
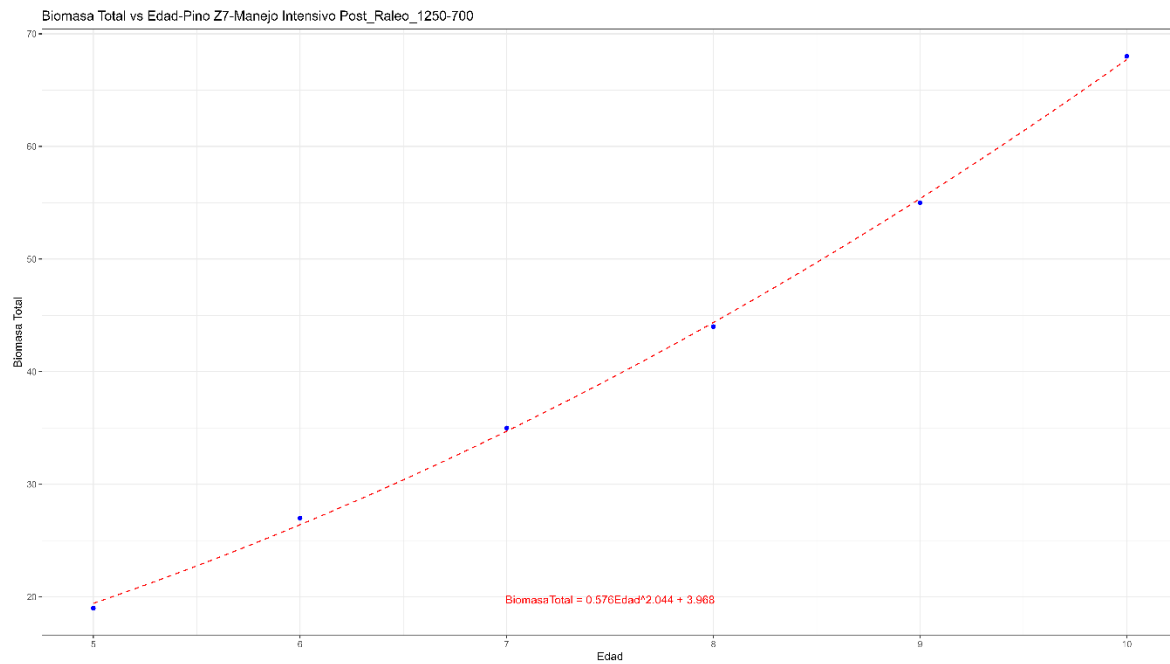
Biomasa Total vs Edad-Pino Z6-Manejo Multiproposito Post_Poda_y_Raleo_700-300



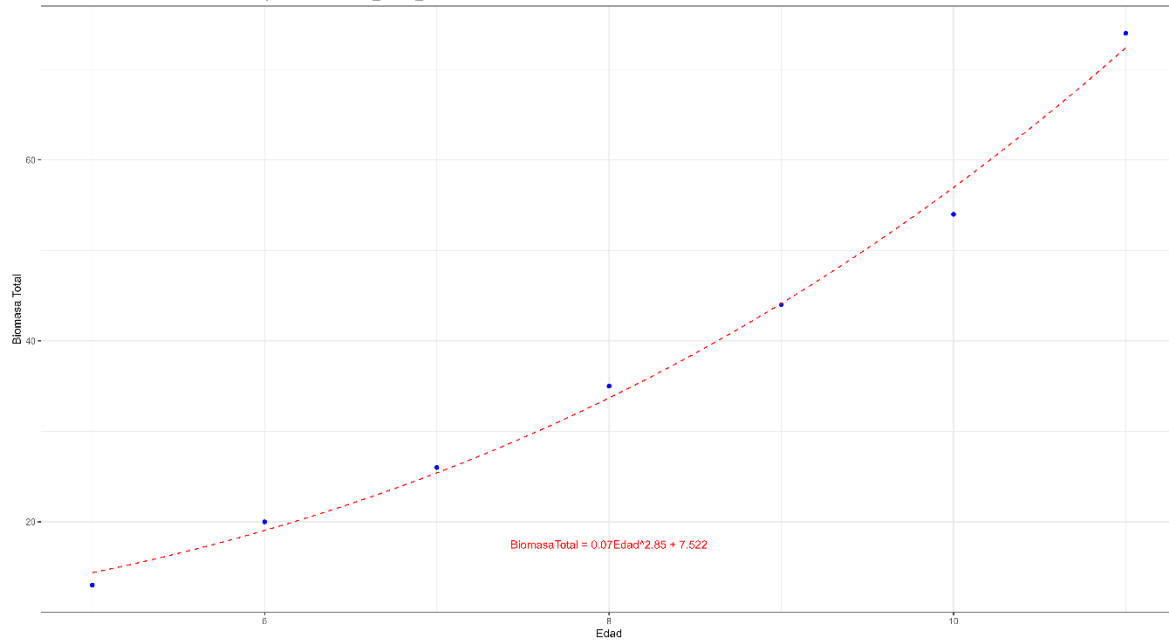
Biomasa Total vs Edad-Pino Z6-Manejo Multiproposito Post_Raleo_1250-700



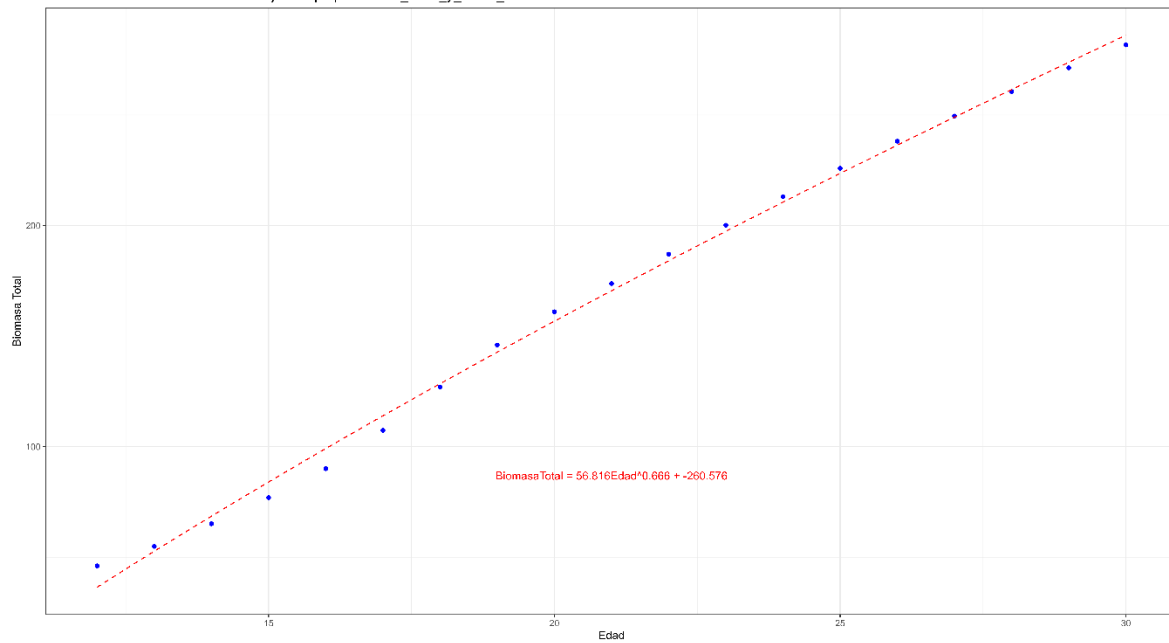




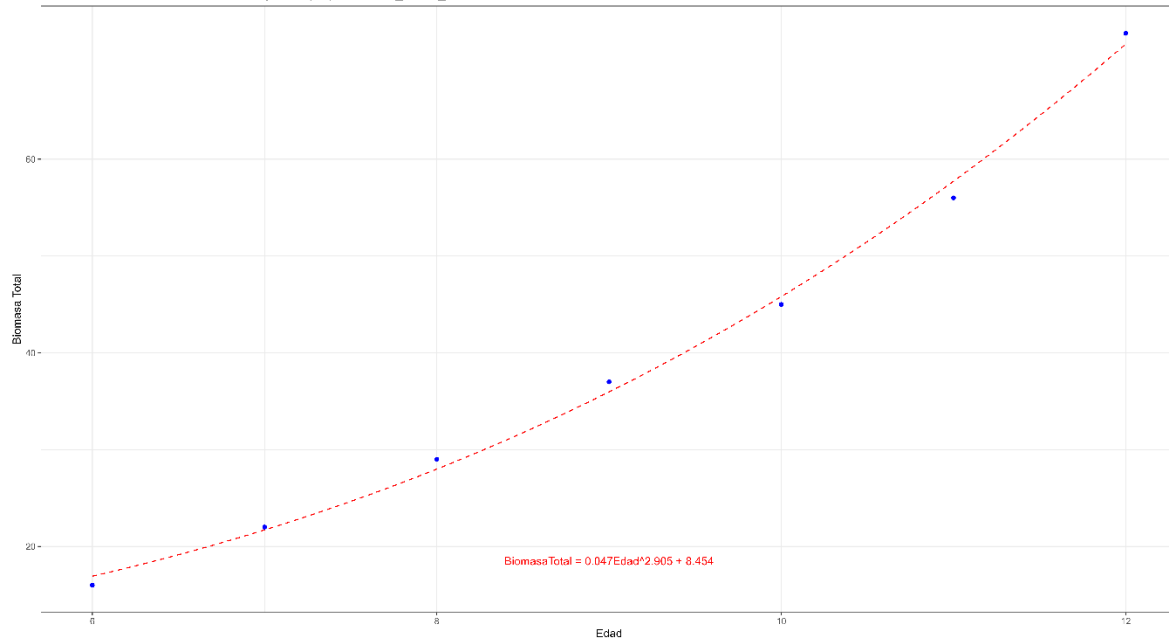
Biomasa Total vs Edad-Pino Z7-Manejo Intensivo2 Post_Raleo_1250-700



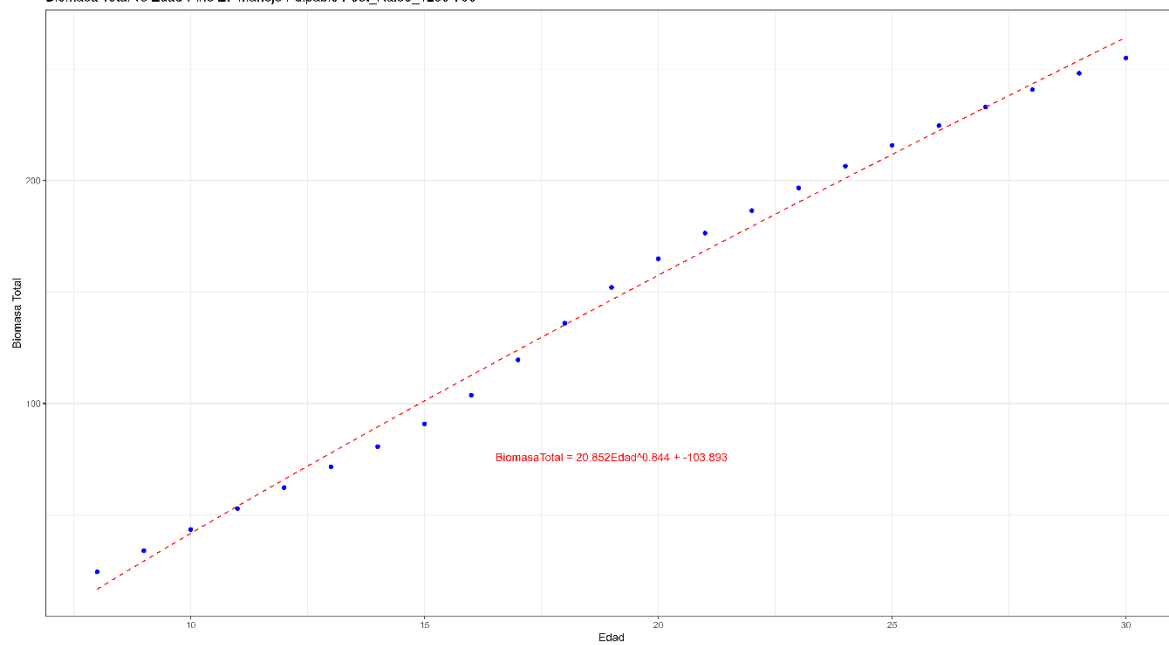
Biomasa Total vs Edad-Pino Z7-Manejo Multiproposito Post_Poda_y_Raleo_700-300



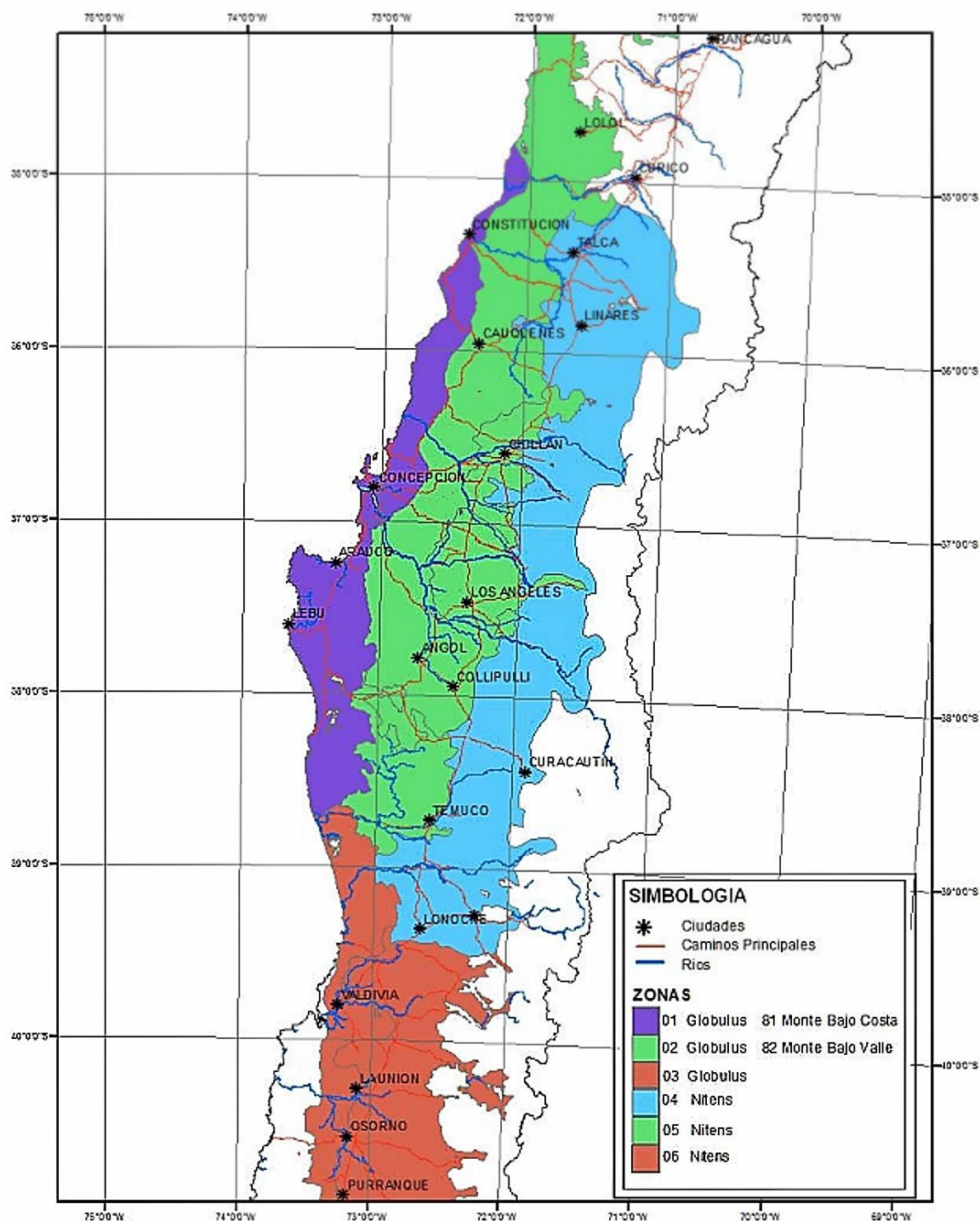
Biomasa Total vs Edad-Pino Z7-Manejo Multiproposito Post_Raleo_1250-700



Biomasa Total vs Edad-Pino Z7-Manejo Pulpable Post_Raleo_1250-700

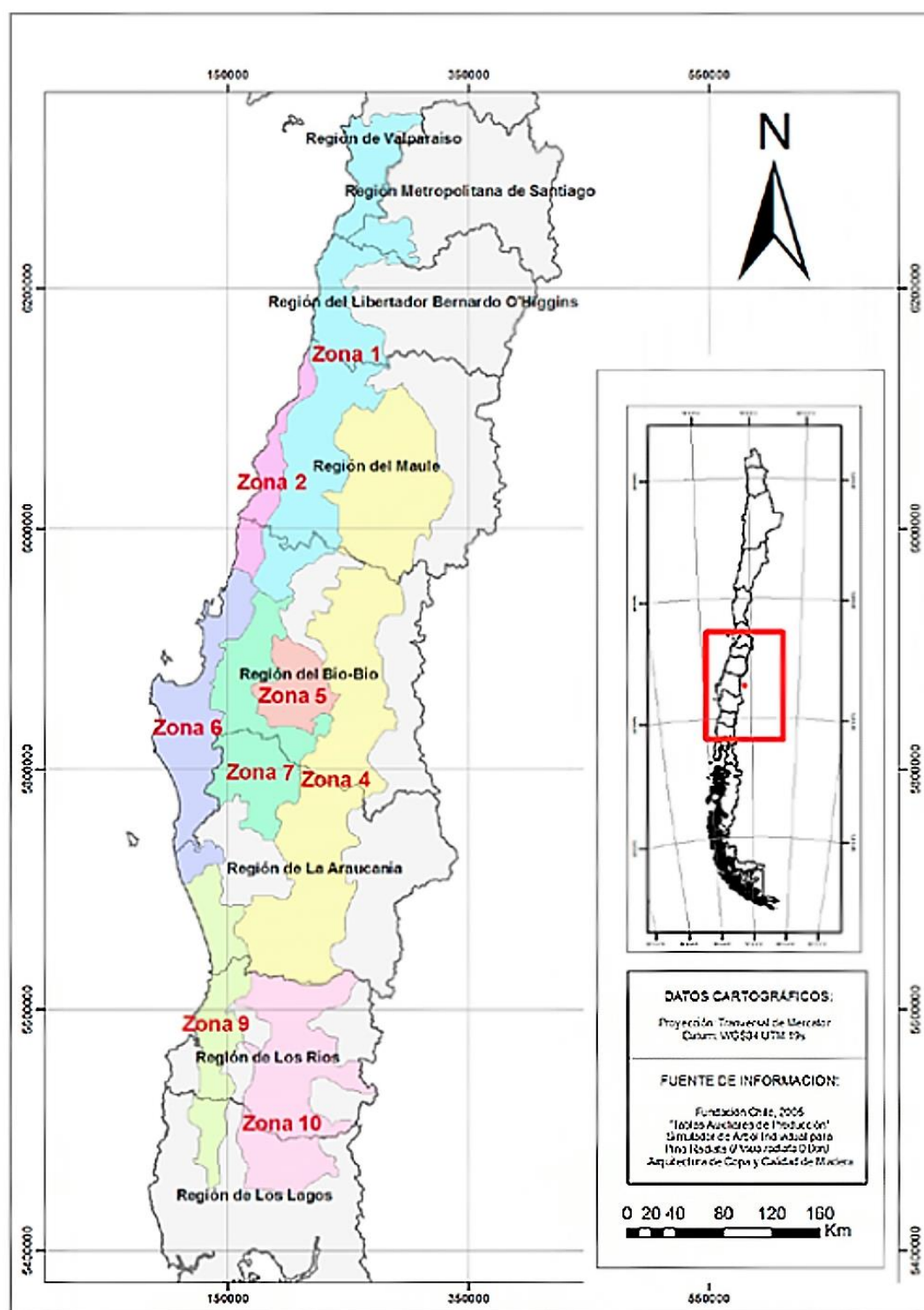


3. Zonas de crecimiento *Eucalyptus globulus*



Fuente: (Corvalán & Hernández, 2012)

4. Zonas de crecimiento *Pinus radiata*



Fuente: (Corvalán & Hernández, 2011)

