

**UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**INFLUENCIA DE LA EDAD DE CORTE EN EL PULPEO  
DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* PLANTADO EN  
URUGUAY**

**Tesistas:**

Fiorella Inderkum Montaldo  
Sofía Alen Santos

*TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.*

**Montevideo  
Octubre, 2020**



# INFLUENCIA DE LA EDAD DE CORTE EN EL PULPEO DE *Eucalyptus globulus* PLANTADO EN URUGUAY

## **Tutor:**

Ing. Agr. Fernando Resquin Pérez

## **Co-tutora:**

Ing. Agr. Cecilia Rachid Casnati

## **Tesistas:**

Fiorella Inderkum Montaldo  
Sofía Alen Santos

**Montevideo, Uruguay  
Octubre, 2020**

## **HOJA DE APROBACIÓN**

Tesis aprobada por:

-----  
Nombre completo y firma.

-----  
Nombre completo y firma.

-----  
Nombre completo y firma.

Nota final: -----

Fecha: -----

Autor: -----

Nombre completo y firma.

-----  
Nombre completo y firma.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queríamos dar las gracias a todas las personas que nos ayudaron en la elaboración de esta tesis, ya que sin ellos no habría sido posible.

A nuestro tutor, Ing. Agr. Fernando Resquin y Co-tutora Ing. Agr. Cecilia Rachid, por saber aclarar nuestras dudas, disponer de tiempo y paciencia para hacernos entender las cosas, por confiar en nosotras y por darnos la oportunidad de poder realizar esta investigación junto a ellos.

Agradecer a los profesores de taller de tesis, Ing. Agr. Ximena Lagomarsino y el Lic. Ernesto Elgue que año tras año nos aportaron el conocimiento para el uso de los programas R e Infostat, brindándonos su apoyo, haciendo correcciones de los trabajos y de más.

Al LATU, por los datos brindados y su visita al laboratorio, aportando conocimientos en el tema.

Al Ing. Agr. Germán Fernández por la ayuda con el R estudio.

A amigas/os que siempre nos animaron.

Por supuesto a nuestra familia, que siempre apoyaron y aportaron un granito de arena, presentes siempre en los momentos más duros, resistiendo el día a día para que esta tesis sea posible.

A la Facultad de Ciencias Agrarias por la formación y el apoyo constante.

## TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
TABLA DE CUADROS.....	VII
TABLA DE FIGURAS.....	VIII
<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. SUMMARY.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
3.1. LA FORESTACIÓN A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL.....	3
3.2. EVALUACIÓN DE LA ESPECIE.....	4
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
4.1. PROPIEDADES DE LA MADERA Y SUS CAMBIOS CON LA EDAD.....	5
4.2. ASPECTOS SANITARIOS.....	8
4.3. MEJORA GENÉTICA.....	9
4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	9
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS.....	12
6.2. MANEJO.....	12
6.2.1. Materiales genéticos.....	12
6.2.2. Características de las parcelas.....	12
6.2.3. Muestreo de árboles.....	13
6.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	14
6.4. ANÁLISIS DE PULPEO, BLANQUEO Y PROPIEDADES PAPELERAS.....	15
6.5. PROPIEDADES DEL PAPEL.....	16
6.6. BLANQUEO.....	17
6.7. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	18
6.7.1. Valor económico del suelo (VES).....	19
6.7.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	20
6.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	20
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:.....</b>	<b>21</b>
7.1. CRECIMIENTO.....	21

7.2.	PULPEO Y PRODUCTIVIDAD DE CELULOSA.....	23
7.3.	LONGITUD DE FIBRAS Y PROPIEDADES PAPELERAS .....	28
7.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	30
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>40</b>

## TABLA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Tabla N° 1. Principales características de las parcelas.....	13
Tabla N° 2. Ecuaciones utilizadas.....	18
Tabla N° 3. Valores de costos de las operativas forestales y precios de la madera.....	19
Tabla N° 4. Valores de crecimiento de las parcelas evaluadas.....	21
Tabla N° 5. Valores de densidad básica, pulpeo y productividad de las fuentes de semillas, sitios y edades evaluadas. ....	24
Tabla N° 6. Longitud de fibras y propiedades papeleras de resistencia a diferentes niveles de refinado para las dos fuentes de semillas en los tres momentos de cosecha. ....	28
Tabla N° 7. Costos económicos para las fuentes de semillas y sitios en los tres momentos de cosecha. ....	30

## TABLA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura N° 1. Datos de exportación de madera de Pino y Eucalyptus en rolo. ....	4
Figura N° 2. Volumen acumulado de ambas fuentes de semillas en los sitios y edades evaluadas. ....	23
Figura N° 3. Incremento Medio Anual del volumen de ambas fuentes de semilla en los sitios y edades evaluadas.....	23
Figura N° 4. Valores de densidad de la madera en los sitios y edades evaluada. ....	25
Figura N° 5. Valores de rendimiento depurado en pasta de las fuentes de semillas sitios y edades evaluadas. ....	26
Figura N° 6. Valores de sólidos en el licor de cocimiento de las fuentes de semillas, en los sitios y edades evaluadas. ....	27

# INFLUENCIA DE LA EDAD DE CORTE EN EL PULPEO DE *Eucalyptus globulus* PLANTADO EN URUGUAY

## 1. RESUMEN

En Uruguay el *E. globulus* por su excelente madera para la producción de pasta de celulosa y papel es una de las especies más plantadas debido a la gran demanda en el mercado internacional. Desde comienzos de la década de 1990 se registraron importantes tasas de plantación anual con esta especie, en todas las zonas de prioridad forestal. En este estudio se evaluaron dos materiales genéticos de *E.globulus* (Jeeralang y Chivilingo) en las zonas Litoral y Sureste del Uruguay, cada uno con tres turnos de cosecha. En cada turno se evaluó el crecimiento, la productividad de celulosa, las propiedades de las fibras para maximizar la calidad y el rendimiento económico para la determinación del momento óptimo de cosecha. Las variables analizadas fueron: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial, volumen individual, volumen por hectárea, incremento medio anual, densidad básica de la madera y longitud de fibra, propiedades mecánicas del papel, la TIR y el VES. Las edades de cosecha variaron de 6,6 - 10,7 años a 11,1 - 13 años en primeros y terceros turnos, respectivamente. Las tasas de crecimiento son crecientes a medida que aumenta la edad de cosecha solo con Jeeralang en la zona Sureste. Se obtuvo una mejora en las propiedades pulpables, en la eficiencia productiva de convertir madera en celulosa y de las propiedades de las fibras al aumentar la edad de cosecha. Los valores de longitud de fibra para las tres edades obtuvieron un incremento de la misma, lo cual provoca una mejora de las propiedades papeleras. La tensión por el desgarro presentó poca diferencia en los valores, cuando la intensidad de refinado es cero. Esto indica que la calidad de la fibra se incrementó en los tres años. La edad óptima de cosecha en función del resultado económico es variable entre sitios indicando la conveniencia de turnos más cortos en la zona del Litoral comparado con la zona Sureste.

**Palabras claves:** *E.globulus*, edad de cosecha, pulpeo, fibra, productividad.

# INFLUENCE OF CUTTING AGE ON THE PULPING PROCESS OF *Eucalyptus globulus* PLANTED IN URUGUAY

## 2. SUMMARY

In Uruguay, *E. globulus* is one of the most widely planted species due to its excellent wood for the production of cellulose pulp and paper, and to its great demand in the international market. Since the beginning of the 1990s, significant annual planting rates have been recorded with this species, in all priority forest areas. In this study, two *E. globulus* genetic materials (Jeeralang and Chivilingo) were evaluated in the “Litoral” and the Southeast areas of Uruguay, each with three harvest shifts. Growth, cellulose productivity, fiber properties to maximize quality, and economic performance were evaluated in each shift to determine the optimal harvest time. The variables analysed were: diameter at breast height (DBH), commercial height, individual volume, volume per hectare, mean annual increase, basic wood density and fiber length, mechanical properties of the paper, the IRR and the VES. Harvest ages ranged from 6.6 - 10.7 years to 11.1 - 13 years in first and third shifts, respectively. Growth rates are increasing as harvest age increased only on the Jeeralang genetic material in the Southeast area. An improvement was obtained in the pulp properties, in the productive efficiency of converting wood into cellulose and in the properties of the fibers with an increasing age of harvest. The fiber length values for the three ages showed an increase of the same, which caused an improvement of the paper-making properties. Tearing resistance stress presented little difference in values when refining intensity was zero. This indicates that the quality of the fiber increased in the three years. The optimum harvest age in relation to the economic result varied between sites, indicating the convenience of shorter shifts in the “Litoral” area compared to the Southeast area.

**Keywords:** *E. globulus*, harvest age, pulping, fiber, productivity.

### **3. INTRODUCCIÓN**

Las especies del género *Eucalyptus* utilizadas comercialmente en general tienen altas tasas de crecimiento, lo que determina una mayor productividad forestal en comparación con las especies de coníferas. Esto está relacionado con la capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de suelo y clima sumando al hecho de que tienen características de la madera que la hacen apropiada para muchos fines: madera, madera contrachapada, fabricación de muebles, construcción, la industria de la pulpa y el papel (Doldán et al, 2008; Paseyro, 2015).

Para la producción de pulpa, algunos estudios indican que existen varios factores que determinan importantes diferencias en cuanto a la calidad de la celulosa. Entre estos, la fuente de semilla (origen), el sitio de plantación y la edad de los árboles se mencionan como los más importantes a considerar (Resquin et al, 2004).

#### **3.1. LA FORESTACIÓN A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL**

Uruguay se encuentra en una zona templada de América del Sur, en una latitud similar a la de los principales países productores de este género del mundo: Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Chile (SPF, 2017).

La superficie de bosques plantados a nivel nacional con fines industriales es de 1,1 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 70 % corresponden al eucalipto (género *Eucalyptus*) y 30 % a pino (género *Pinus*) (Paseyro, 2015).

Los departamentos con mayor concentración de plantaciones forestales son Rivera, Tacuarembó, Paysandú, Río Negro, Lavalleja y Rocha (SPF, 2017).

Las especies más utilizadas a nivel nacional son *E. grandis*, *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *Pinus elliotti* y *Pinus taeda* (SPF, 2017).

Durante las últimas dos décadas el sector forestal ha tenido un importante desarrollo en Uruguay y se ha convertido en uno de los sectores insignia del país. Esto fue, consecuencia de la promoción del sector a través de

la Ley Forestal 15939 promulgada en 1987, tomando un nuevo impulso a partir de 2007 y luego con instalación de dos plantas de celulosa con una capacidad nominal de más de 1 millón de toneladas de celulosa por año cada una (Innova Portal, 2016).

Desde ese entonces, hubo un punto de inflexión, donde el uso más importante de la madera fue para la producción de celulosa con una tendencia al crecimiento. En este escenario, la evaluación de los recursos forestales como materia prima para la producción de celulosa, su desempeño en la fábrica y la calidad de la celulosa se hicieron de vital importancia (Innova Portal, 2016).

En la Figura N° 1 se presentan datos de extracción de madera en rolo en miles de m<sup>3</sup> por año de *Eucalyptus* y Pino.

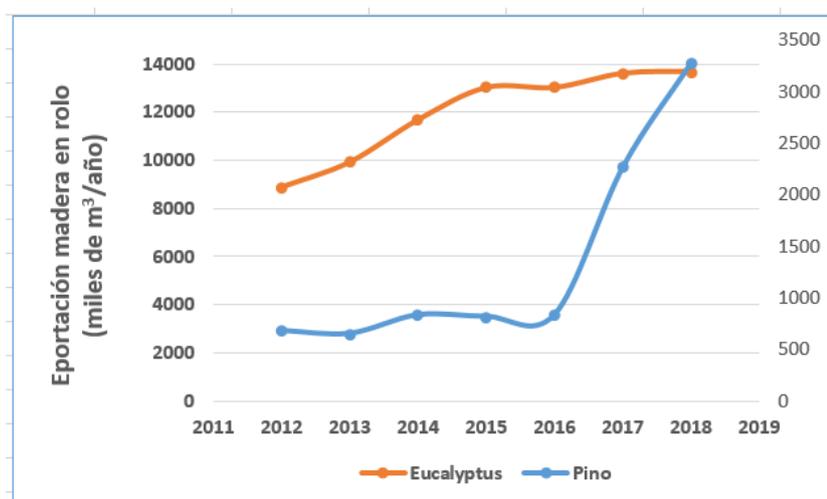


Figura N° 1. Datos de exportación de madera de Pino y Eucalyptus en rolo.

Fuente: Elaborado con base en MGAP-DGF 2019.

### 3.2. EVALUACIÓN DE LA ESPECIE

Para obtener una fibra competitiva y de alta calidad es necesario tener en cuenta aspectos de manejo silvicultural los cuales pueden estar afectando el volumen y el tipo de materia prima producida. Una de las claves del éxito de los emprendimientos comerciales es mediante un proceso de mejora continua de selección de los mejores materiales genéticos. Desde la introducción del género *Eucalyptus* para la producción de celulosa, la búsqueda de los individuos más apropiados sigue evolucionando. La calidad de la pasta

depende de la materia prima, que actualmente está estandarizada para las plantas modernas, alentando a los productores de madera a participar en la mejora de sus propiedades. Por lo tanto, con respecto a este proceso de mejora continua, los programas de mejoramiento tienen como objetivo la selección y multiplicación de las especies o individuos superiores que mejor se adaptan a las condiciones ambientales, impuestas principalmente por el clima y las características topográficas de una región determinada, para maximizar la rentabilidad de los emprendimientos (Raymond, 2002).

La expectativa inicial de que *E. globulus* era una especie adecuada para las condiciones de clima de Uruguay ha cambiado debido a la experiencia obtenida en los últimos años (Balmelli y Erramuspe, 2016). Fue la especie con mayor área plantada en el país, pero eso ha cambiado mucho en los últimos 10 años debido a un problema sanitario que afecta a la especie disminuyendo severamente sus rendimientos (Balmelli, 2016).

#### **4. MARCO TEÓRICO**

##### **4.1. PROPIEDADES DE LA MADERA Y SUS CAMBIOS CON LA EDAD**

Diversos trabajos han establecido que las propiedades de celulosa cambian con la edad de la madera, atribuyéndose a ésta varias transformaciones que ocurren durante el crecimiento del árbol como la anatomía de la fibra además de la composición química y física de la misma (Resquín et al, 2007). Estos autores determinaron que ocurren cambios en la densidad de la madera dependiendo en la zona donde se sitúen las plantaciones. Los resultados obtenidos demuestran que en la zona de litoral se obtienen valores de densidad básica más altos que en el resto del país, tanto con esta como con otras especies de eucaliptos (Resquin et al, 2004).

En el caso del eucalipto, la edad de cosecha (dentro de un determinado rango) es relativamente flexible sin que se vea afectada en gran medida la rentabilidad de las plantaciones. En general con edades avanzadas se obtienen mayores volúmenes de madera y por tanto mejores beneficios económicos. Sin embargo, existen requisitos técnicos, de calidad y económicos que limitan la edad de los árboles aptos para la producción de celulosa. Uno de los

requisitos, es que el diámetro de los rolos debe estar dentro de los 6 cm a 7 cm y la edad de los árboles no debe ser superior a 14 años. La densidad de la madera puede transformarse en un problema porque los árboles más viejos se vuelven más densos, lo que también afecta las operaciones (Thomas et al, 2009).

Existen otros componentes en la madera llamados extractivos o componentes extraños (constituidos por alcanos, monoterpenos, fenoles, resinas acidez, etc.) que afectan el rendimiento en planta y la calidad de la celulosa. Un alto contenido de extractivos es perjudicial para el consumo de productos químicos que reaccionan con la madera y puede causar deposición en las láminas de celulosa (Allen y Back, 2000).

En consecuencia, los cambios en la madera que surgen con respecto a la edad y su implicancia en la industria (pasta y papel) pueden ser de relevancia. Estos están relacionados con el rendimiento de celulosa, la densidad de la madera, el consumo de álcali, las propiedades químicas de la madera y la morfología de la fibra. Foelkel (2011) afirma que es a su vez se vinculan con la longitud, ancho, grosor y número de fibras.

Tanto a nivel nacional como regional, existe muy poca información disponible en lo que concierne a los principales cambios que ocurren en la madera y en la celulosa de los eucaliptus con el envejecimiento del árbol.

El mejor momento de cosecha va a estar determinado por los objetivos de producción de cada caso en particular. De acuerdo con diversos resultados, las propiedades de la madera son afectadas por la edad del árbol (Miranda et al, 1999). En general, la densidad de la madera en latifoliadas tiene un aumento con la edad como consecuencia del aumento del espesor de la pared y una disminución del largo de las fibras. El tenor de lignina propende a disminuir, debido a que las maderas más jóvenes tienden a poseer una mayor proporción de lignina que la madera madura (Backman y García de León, 2003).

De acuerdo con las tendencias analizadas, surge como alternativa alargar el ciclo de una rotación y de esta manera poder mejorar las propiedades tecnológicas de la madera para la producción de celulosa. Esto es importante en situaciones en donde se requieran utilizar maderas de alta densidad y alto rendimiento de forma de obtener bajos consumos de madera.

Se debe tener en cuenta que, desde el punto de vista tecnológico sería conveniente realizar turnos de corte mayores con el cometido de aumentar la calidad de la madera, pero a su vez con turnos más cortos se tendrían ciclos de retorno más frecuentes, con menor costo financiero (Backman y García de León, 2003).

Por lo tanto, surge la necesidad de comprender cómo varían las propiedades de la madera en función de la edad e identificar el mejor momento de cosecha. Esta información permitiría predecir el efecto de cambiar la edad de rotación sobre el rendimiento, calidad de la madera y la pasta obtenida (Resquín et al, 2007).

Numerosos estudios muestran que existen condiciones externas que influyen en el rendimiento y la calidad del papel obtenido como la procedencia de semilla, el sitio de plantación, entre otros, que puede llegar a afectar la calidad de la madera a obtener (Turner et al, 1983). Uno de los factores que inciden sobre las características de la materia prima utilizada por la industria de producción de celulosa es la edad de los árboles (Foelkel, 1978).

De acuerdo con Orme (1983) a medida que aumenta la edad de los árboles, se obtienen mejores resultados en el proceso de pulpeo y el tipo de celulosa y papel obtenido. Resultados obtenidos por varios autores con especies del género *Eucalyptus* indican que, dentro de ciertos rangos de edad, se produce un aumento de la densidad de la madera, rendimientos celulíticos y una disminución de algunos parámetros de la composición química que deben ser removidos durante el pulpeo químico (Boeykens, 2006).

A medida que el árbol crece, se originan nuevas células de xilema en la parte externa de la sección transversal del fuste, las cuales tienen características que van cambiando en los primeros años del crecimiento del árbol. Estos cambios alteran parámetros de las propiedades físicas, químicas y anatómicas de la madera (Fernández-Ibañez, 2001).

El incremento en la longitud de las fibras durante los primeros 6 años determina la producción de células de mayor tamaño y al mismo tiempo, una disminución de la proporción de células que forman parte de la madera juvenil (Grant et al, 2010).

La estabilización del largo de las fibras surge cuando las células del cámbium alcanzan la máxima longitud, momento a partir del cual comienza la

formación de madera adulta. A medida que aumenta el número de períodos de crecimiento las células fusiformes del cámbium aumentan su longitud. Este alargamiento de la celulosa ocurre hasta un momento en donde la longitud promedio se mantiene relativamente constante para el resto del periodo de crecimiento del árbol (Olmedo, 2003).

*Eucalyptus globulus* se caracteriza por poseer un bajo contenido de lignina comparada con otras especies de *Eucalyptus* con valores que varían de 21,5 % a 23,7 % (Resquín, 2002). El contenido de lignina en términos generales tiende a disminuir con la edad debido a su asociación positiva con la madera juvenil la cual es formada en los primeros años de crecimiento (Alencar, 2002).

En Uruguay se evaluaron turnos de corte con una media de 9 años con *E. globulus*, obteniéndose propiedades pulpables satisfactorias (Doldán, 2007). De acuerdo con este autor, en esta fase las maderas todavía no alcanzaron su máximo potencial debido a que con esas edades las principales características de esta están tendiendo a estabilizarse.

#### 4.2. ASPECTOS SANITARIOS

La especie *E. globulus ssp. globulus*, posee una madera que permite obtener un alto rendimiento y calidad de papel resultante en los procesos de pulpeo utilizados mundialmente (LATU, 2008).

Esto ha determinado que haya sido una de las especies más utilizada en el país, debido al alto precio de su madera con destino a la producción de pasta de celulosa. Esa realidad cambió radicalmente en los últimos años debido a la aparición de enfermedades causadas por hongos. Esto inicialmente ocasionó la disminución de las plantaciones y luego directamente la búsqueda de una sustitución con *E. dunnii* y *E. smithii* (Balmelli y Erramuspe, 2016).

Los problemas sanitarios han provocado importantes reducciones de crecimiento debido a la pérdida de árboles. Por lo que hoy en día no es una de las especies más plantada, se redujo significativamente el área, al punto de que casi no se planta. A raíz de esto se están evaluando alternativas para identificar materiales genéticos tolerantes a las principales enfermedades registradas (Balmelli y Erramuspe, 2016).

### 4.3. MEJORA GENÉTICA

La mayoría de los programas de mejoramiento existentes para *E. globulus* tienen como objetivo, maximizar la productividad por unidad de área y lograr una mejora en la calidad de la madera para pulpa.

Sin embargo, varios programas incluyen la tolerancia a enfermedades y plagas en sus objetivos de mejoramiento (Balmelli et al, 2008). La elección de una adecuada fuente de semilla es probablemente la herramienta más sencilla y de bajo costo para obtener un buen resultado económico (Eldridge et al, 1994).

Para lograr una mejora continua de la productividad, tolerancia a enfermedades y plagas deben utilizarse otras estrategias de mejoramiento genético como la selección y clonación de individuos tolerantes o la selección recurrente. Si bien la clonación de individuos selectos puede ser más efectiva en el corto plazo, la misma depende de la variación genética existente en la población, la cual depende en el mediano y largo plazo de la reproducción sexual (Miranda et al, 2005).

Para las estrategias del mejoramiento, son claves las siguientes características (Balmelli, 2002):

- Una población manejada inicialmente como población de cría y luego como huerto semillero.
- Una red de prueba de progenie que aporta información genética para el manejo de dicha población.
- El manejo de población de cría y del huerto semillero con polinización abierta.
- Corto intervalo generacional.
- Una importante introducción de nuevos materiales en cada generación.

### 4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la planificación y evaluación de un emprendimiento forestal tiene que ver con los

conceptos de rentabilidad y rotación (Villacura, 2012). Ambos factores pueden ser analizados a través de indicadores biológicos (Incremento Medio Anual e Incremento Corriente Anual) y económicos (Tasa Interna de Retorno - TIR o Valor Económico del Suelo - VES) los cuales permiten identificar el momento óptimo de cosecha. La definición del momento de cosecha es de vital importancia ya que el corte fuera de la edad adecuada determinará un aumento de los costos de producción y por lo tanto una reducción del retorno obtenido con relación al capital invertido (Hoffman y Berger, 1973).

Los costos de plantaciones y manejo dependen de los métodos y prácticas utilizados por lo que su variabilidad es alta y depende de la eficiencia de cada productor forestal en el desarrollo de las tareas (Dane et al, 2008).

El término rotación financiera hace referencia a la decisión del momento de cosecha con el objetivo de maximizar los ingresos. Los criterios utilizados para la toma de esta clase de decisiones se diferencian en el tipo de supuestos empleados y son todos válidos en la medida en que describan correctamente los posibles escenarios donde se desarrolle cada proyecto (Villacura, 2012). De acuerdo con este autor tanto la TIR como el VES son herramientas complementarias y de gran utilidad en la medida que sean correctamente interpretados no existiendo una unificación de criterios sobre la ventaja comparativa de cada uno.

De acuerdo a Chang (1984), el momento de cosecha está determinado cuando el retorno marginal obtenido por dejar que el rodal crezca un año iguales a la suma de los costos marginales para ese período.

Los turnos de cosecha de las plantaciones de *E. globulus* en Uruguay están en el entorno de 10 a 12 años, basados en aspectos relacionados fundamentalmente con la necesidad de la rápida recuperación de la inversión de las empresas forestales. Este criterio se aplica tanto en primera cosecha como en las siguientes rotaciones a pesar de que los niveles de productividad son notoriamente diferentes en ambos casos. En cambio, en situaciones en donde existe una integración de la fase agrícola con la industrial, los turnos de cosecha se definen en función de la tasa de incremento de la producción de celulosa por hectárea. En este tipo de situaciones deben primar los intereses de la empresa en su conjunto, de manera que si la demanda por parte de una planta fuera mayor que la oferta de madera, la edad de corte deberá ser

definida de manera de abastecer las necesidades de la industria (Ferreira et al, 2004). Esto determina que en algunos sistemas de producción el turno óptimo de cosecha desde el punto de vista biológico sea diferente al que considera el resultado económico, dependiendo de las condiciones de cada caso en particular (Huu-Dung y Yeo-Chang, 2012).

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la edad de cosecha de *E. globulus*, sobre la productividad y propiedades tecnológicas de la madera procurando maximizar la calidad y el rendimiento de celulosa obtenida.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la evolución del crecimiento y propiedades pulpables de la madera de *E. globulus* a medida que se aumenta el turno de cosecha en zonas Sureste y Litoral de Uruguay.
- Identificar el momento óptimo de cosecha desde el punto de vista del rendimiento de celulosa por hectárea.
- Estimar el efecto de disminuir o extender los turnos de corte sobre el rendimiento económico.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este trabajo cuenta con bases de datos experimentales a campo implementados por el INIA y el LATU, a partir de los cuáles se realizó el presente estudio. Estos ensayos se llevaron a cabo en los años 2008, 2010 y 2012.

## 6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Los experimentos fueron realizados en base a un diseño completamente al azar con 15 repeticiones.

Los tratamientos en cada una de las parcelas fueron tres edades de cosecha, las cuales ocurrieron en un rango de edades de 6,6 a 13 años.

Las parcelas fueron asignadas al azar y dentro de las mismas (y en cada una de las edades) fue realizado el muestreo sistemático, eligiendo árboles con determinado diámetro, de los cuales se estimó el diámetro a la altura del pecho (DAP) más próximo a la media de cada clase, para ser medidos.

## 6.2. MANEJO

### 6.2.1. Materiales genéticos

La estrategia de este proyecto consiste en la evaluación de dos materiales genéticos: Jeeralang (Australia, 38° 24' Sur; 146° 3' Oeste) y Chivilingo (Huerto Semillero de Forestal Monteáguila - Chile 37° 00' Sur, 71° 29' Oeste) a lo largo del ciclo del cultivo en las zonas Litoral y Sureste.

### 6.2.2. Características de las parcelas

Las parcelas se instalaron en predios de empresas comerciales y fueron seleccionadas porque se consideraron representativas desde el punto de vista del crecimiento de acuerdo con el inventario de cada empresa.

En la Tabla N° 1 se representan las diferentes características de los materiales genéticos, anteriormente mencionados, en sus respectivas localizaciones.

Tabla N° 1. Principales características de las parcelas.

Sitios	Jeeralang				Chivilingo						
	Litoral		Sureste		Litoral		Sureste				
Latitud	33°20'19,38"S		33°48'05,92"S		33°20'38,26"S		34°10'24,99"S				
Longitud	57°48'20,23"O		54° 56'00,53"O		57°51'31,92"O		54° 17'30,99"O				
Distancia plantación	3,3 x 2,1		3,8 x 1,9		4 x 2,6		3,7 x 1,8				
Árboles/ha iniciales	1364		1415		960		1664				
Área evaluada (ha)	1,1		0,97		1,3		0,9				
Arboles muestreados	15		15		15		15				
Grupos CONEAT	9,1		2,12		9,3		2,12				
Clasificación de suelo*	Argiudolls y Hapludetts		Argiudolls		Argiudolls y Hapludetts		Argiudolls, Hapludolls y Hapludalfs				
Edad (años)	8,6	10,7	13	7,6	9,8	6.9	9.1	11.4	6.6	8.7	11.1
Laboreo	Subsolado agrícola + dos excéntricas		D8 + excéntrica +		Disquera		Subsolado agrícola + dos excéntricas		Excéntrica + Subsolado D6 + Excéntricas + disquera		
Fertilización	80 g 15/40/0				80 g 15/40/0		80 g 7/40/40/0				

Fuente: Tomado de Duran et al 1999.

### 6.2.3. Muestreo de árboles

Cada dos años se midió el DAP, de todos los árboles y la altura total de aproximadamente 1/3 de los mismos. Con esos datos se estimaron las alturas del resto de los árboles de la parcela y la sobrevivencia.

El volumen individual y por hectárea hasta un diámetro con corteza de 6 cm, se estimaron a través de ecuaciones de volumen ajustadas a partir de los datos de los árboles muestreados. Se utilizaron las ecuaciones de volumen para las zonas en estudio, realizándose una comparación de pendientes, manifestándose diferencias significativas entre las diferentes zonas de origen de los datos (Crechi et al, 2006).

Con estos valores se estimó la sobrevivencia, el incremento medio anual (IMA), el volumen por árbol y por hectárea.

A partir de los valores de DAP se determinó el área basal (AB):

$$AB = (\pi D^2)/4$$

$$A. B = C/\pi 2$$

D= DAP (Diámetro a la altura del pecho).

C= CAP (Perímetro a la altura del pecho).

Se establecieron clases diamétricas, cada una con una amplitud de 3 cm. Para el muestreo se consideraron solo las que representan la mayor parte del AB total de la parcela (aproximadamente 85 % del total). Para el muestreo de árboles no se consideró los individuos de menor DAP relativo. De cada una de estas cinco clases se seleccionaron 20 árboles con DAP próximo a la media de cada clase y se midieron con penetrómetro (pilodyn). De esos 100 árboles se seleccionaron y apearon 15 que tuvieron valores altos, medios y bajos de penetración (dentro del rango que se obtuvo en cada parcela) y con promedio próximo a la media de los 100 árboles. La cantidad de árboles apeados dentro de los grupos de valores altos, medio y bajo de penetración del penetrómetro estuvo en proporción del AB que cada una de las clases se representó en el total de AB de la parcela.

A las alturas del DAP, 50 % y 75 % se extrajeron muestras tipo discos sin corteza de aproximadamente 3 cm de espesor para determinar la densidad básica de la madera. A partir de 1,3 m fue extraída una troza de 1 m de largo para los análisis de pulpeo.

### 6.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Con los discos extraídos se elaboraron probetas para la determinación de densidad aparente básica (Dab) y longitud de fibra. De cada disco se tomaron tres probetas en el radio (médula-corteza) que presentaran leño con características normales (sin madera de reacción). La nomenclatura fue A, B y C, ubicada la probeta A en la zona cercana a la médula, la B en la zona intermedia y la C contra la corteza.

El procedimiento se realizó para cada disco en las tres alturas estudiadas; resultando en nueve probetas por árbol.

La densidad aparente básica se determinó según Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 2006.

Para la medición de la longitud de fibra se tomaron muestras de las probetas A, B y C para las tres alturas. Para la individualización de las fibras se realizó un macerado colocando cada muestra en un recipiente con una solución de ácido acético y peróxido de hidrógeno (relación 1:1 en volumen) en estufa a 60 °C durante 48 horas. Posteriormente las fibras maceradas fueron enjuagadas con agua. La longitud de fibras se midió mediante software de adquisición de imágenes adjunto a un microscopio Nikon Eclipse E800. En cada muestreo fueron medidas aproximadamente 32.400 fibras, provenientes en cada caso de 60 árboles x 60 fibras/ha x 3 alturas x 3 posiciones.

#### 6.4. ANÁLISIS DE PULPEO, BLANQUEO Y PROPIEDADES PAPELERAS

Las trozas fueron picadas en una chipera de disco vertical marca KUMAGAI. Los chips obtenidos de las 15 trozas de cada parcela fueron mezclados para lograr una muestra homogénea y representativa mediante el método de cuarteos. Posteriormente se realizó un tamizado entre bandejas de orificios de 10 mm y 29 mm de diámetro con el cometido de descartar finos y sobre-tamaños. Mediante una clasificación visual se extrajeron los chips con nudos y otros defectos.

Con los chips seleccionados se condujeron los ensayos de pulpeo kraft en un digestor rotativo con cuatro cápsulas, cada una para un contenido de 200 g de chips secos.

Las condiciones de cocción, que se realizaron con un Índice Kappa de  $20 \pm 1$ , fueron las siguientes: Temperatura máxima (°C) 165, Sulfidez (%) 25, Tiempo hasta temperatura Máxima (minutos) 90, Tiempo a la máxima Temperatura (minutos) 50, Relación licor/ madera 3,5/1, Alkali Activo (AA) (porcentaje como Na<sup>2</sup>O) variable.

Una vez obtenidas las pulpas se determinó:

- Rendimiento bruto (Rb):  $\%RB = ((PsT / P1real) / 100) + \%R$ 
  - PsT = Peso anhidro de pulpa tamizada (g)
  - P1real = peso anhidro inicial corregido de chips (g)
  - %R = porcentaje de rechazo con respecto a la muestra inicial de chips.
- Rendimiento depurado (Rd): es Rb menos el rechazo.
- K = número de Kappa, es el consumo, en ml, de  $KMnO_4$  0.1N por gramo de pulpa seca indicando el contenido de lignina residual en pulpa. Los resultados se corrigen para un consumo de  $KMnO_4$  (permanganato de potasio) del 50 % del total agregado.
- Proporción de rechazo (Norma TAPPI T-236om 06) (TAPPI, 2006).

Con el valor de densidad y rendimiento pulpable fue estimado el consumo específico de madera (CE). Con estos valores se estimó el tenor de sólidos secos (tss) generados por tonelada de celulosa producida a través de la fórmula descrita en la Tabla N° 2.

Dónde:

tss = tenor de sólidos secos - tss/odt;

Rb = rendimiento bruto - %

AA = álcali activo aplicado - %

Rd = rendimiento depurado - %

Con el valor de volumen por hectárea, densidad básica y rendimiento bruto se estimaron los valores de producción de celulosa por hectárea.

## 6.5. PROPIEDADES DEL PAPEL

Para refinar la pulpa se utilizó un molino PFI según el procedimiento LATU basado en la norma ISO 5264 (ISO, 2002). Se utilizaron tres intensidades de refinado: 0, 1000 y 3500 revoluciones. Posteriormente se determinó para cada intensidad los índices de drenabilidad (CSF y  $SR^0$ ).

Para la formación de las hojas manuales se utilizó el procedimiento LATU basado en la norma ISO 5269 (ISO, 2005).

Se determinaron las siguientes propiedades: gramaje, resistencia a la tracción, resistencia al desgarro según la ISO (ISO, 1998).

Para comparar los resultados de resistencia de las hojas se utilizó un indicador determinado por el producto del Índice de tracción (tensile Index, Nm/g) y el Índice de desgarro (tear Index, mNm<sup>2</sup>/g).

## 6.6. BLANQUEO

Al momento del blanqueo, se da por culminada la eliminación de la lignina dado que se provoca la blancura objetiva. Esta etapa de blanqueo se lleva a cabo por medio del método ECF; este utiliza como agente oxidante el ClO<sub>2</sub> (Dióxido de Cloro), un agente muy selectivo de la lignina, degradando en pequeña medida a la celulosa a diferencia del oxígeno.

La blancura objetivo es del 90 % lograda, a partir de una pérdida de celulosa en el entorno del 5 % desde que ingresa a la etapa de blanqueo hasta que sale.

El blanqueo consiste en mezclar la pasta junto con el agente blanqueador en un reactor el cual es el recipiente en donde se lleva a cabo la reacción y asegura por tanto el tiempo necesario para que se lleve a cabo la reacción. Luego de cada mezclado esa pasta es lavada para eliminar la lignina degradada y así seguir en camino.

Existen tres partes en la etapa de blanqueo:

- Etapa D: esta es la inicial, en donde se realiza la primera mezcla de la pasta y el dióxido de cloro.
- Etapa EoP: es una etapa de extracción alcalina, oxígeno y peróxido de hidrógeno, la cual se realiza para convertir en solubles los posibles compuestos clorados que se podrían haber formado en la etapa D.
- Etapa D1: se utilizó Dióxido de Cloro, para lograr la blancura de la pasta y posterior lavado de la misma.

Las reacciones que ocurren en la primera y segunda etapa de deslignificación provocan la reducción en el peso molecular de la lignina y la

formación de grupos hidroxilo lo cual permite la disolución de la lignina en el licor de cocción (McGinnis y Shafizadeh, 1980).

Con la pulpa obtenida en las cocciones se realizó la delignificación con oxígeno prosiguiendo con una secuencia de blanqueo ECF (Elemental Chlorine Free).

En la Tabla N° 2 se muestran las ecuaciones utilizadas en cada muestreo para la obtención de los datos.

Tabla N° 2. Ecuaciones utilizadas.

<b>Volumen (m<sup>3</sup>/ha)=</b>	Sumatoria Volumen de todos los árboles / Área evaluada.ha
<b>Incremento Medio Anual (m<sup>3</sup>/ha/año) =</b>	Volumen.ha/Edad
<b>Sobrevivencia (%)=</b>	Árboles vivos / Árboles plantados X 100
<b>Consumo de madera (m<sup>3</sup>/ton.cel.) =</b>	1 * Humedad(0,90) / (Db*Rd)
<b>Producción de Celulosa (Ton./ha) =</b>	Vol.ha * Db * Rd
<b>Producción de Celulosa (Ton./ha/año) =</b>	Prod.Cel / Edad
<b>Tenor sólidos secos (tss/tsa) =</b>	((100 – Rb) + AA) / Rd

## 6.7. ANÁLISIS ECONÓMICO

La importancia de los costos radica no en la información como tal, sino en la interpretación que se haga de la misma y la forma en que se utilice para optimizar los procesos productivos y aumentar las utilidades. De esta forma es posible analizar los costos e ingresos a fin de calcular la utilidad o pérdida de cada edad de cosecha.

Para el análisis de los costos económicos en la TIR y el VES en los segundos y terceros turnos se asumió un porcentaje de reducción del volumen de la primera rotación (30 %). La comparación del resultado económico de cada tratamiento constó de un análisis de TIR, VES y flujo de caja con el fin de realizar un análisis de rentabilidad. El cálculo de cada uno se describe en la Tabla N° 3.

El valor de la madera pulpable es de US\$ 12 por metro cúbico si es fustal, y se acerca a los U\$S 15,5 por metro si es sin tallar.

Tabla N° 3. Valores de costos de las operativas forestales y precios de la madera.

<b>Costos de plantación + control de malezas y hormigas.</b>	U\$S/ha	1551
<b>Mantenimiento después de los 18 meses.</b>	U\$S/ha	15
<b>Manejo de rebrote + control de malezas y hormigas</b>	U\$S/ha	188
<b>Costos de cosecha.</b>	U\$S/mcs	21
<b>Extracción</b>	U\$S/ton	182
<b>Costos de transporte (km).</b>	U\$S/ton/kmt	6,8
<b>Precio de la madera en pie</b>	U\$S/m <sup>3</sup>	34,2
<b>Precio puesto en el puerto Montevideo.</b>	Usd/mcs	62

#### 6.7.1. Valor económico del suelo (VES)

Con el VES se calcula la rentabilidad del proyecto para infinitas rotaciones del cultivo (MINAGRI, 1974). Es un indicador muy útil para determinar el monto máximo de dinero que se está dispuesto a pagar por un terreno destinado a infinitas rotaciones. La definición de VES corresponde al mismo concepto de valor económico de cualquier bien de capital, que en términos prácticos es el valor actual de todos los beneficios futuros netos generados por el suelo (Chacón, 1995). Así, el VES para infinitas rotaciones de plantación de una especie forestal es:

$$VES = \frac{\sum_{j=0}^r (B_j - C_j)(1+i)^{-j}}{(1+i)^r - 1}$$

Dónde:

B<sub>j</sub> es el beneficio en un año j expresado en US\$; C<sub>j</sub> es el costo en un año j expresado en US\$; r es la edad de rotación expresada en años; i es la tasa de descuento expresada en valor decimal.

### 6.7.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

La TIR nos da una medida relativa de la rentabilidad (Alvarez y Falcao, 2011).

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Dónde:

Fn es el Flujo Neto en el año; n es el número de períodos; i es el valor de la inversión inicial.

Los criterios de selección de la tasa de descuento de flujos para el cálculo del VAN son los siguientes (Restrepo, 2019):

Si la TIR > tasa de descuento de flujo, se acepta el proyecto de inversión. La tasa de rendimiento interno que obtendremos será superior a la tasa mínima de rentabilidad que requiere para la inversión.

Si la TIR = tasa de descuento de flujo, se presentaría una situación similar a la que se produce cuando el VAN es igual a cero. En este caso, se podría llevar a cabo la inversión suponiendo que se mejore la posición competitiva de la empresa y que no existan alternativas más favorables.

Si la TIR < tasa de descuento de flujo, se debe rechazar el proyecto, ya que no se alcanza la rentabilidad mínima para comenzar con la inversión.

### 6.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos de DAP, altura comercial, volumen individual, densidad básica de la madera y longitud de fibra se realizó un análisis de varianza comparando en cada una de las parcelas tres edades de cosecha mediante la prueba F en Infostat, versión 2027.1.2 y R, versión 3.5.3. A posteriori se realizó

la comparación de las medias mediante el test de Tukey con un nivel de probabilidad del 5 %.

Se verifico la normalidad (mediante el test de Kolmogorov - Smirnov) y la homogeneidad (mediante el test de Levene) de varianzas y la independencia de los errores (análisis visual de los gráficos). En los casos en los que no se cumplieron algunos de estos supuestos se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y posteriormente la comparación de medias mediante el test SNK (Student-Newman-Keuls).

La prueba F se utilizó para el análisis de densidad y para las variables largo de fibra, altura, diámetro y en volumen individual se utilizó el test no paramétrico Kruskal-Wallis (SAS, 1989).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

### 7.1. CRECIMIENTO

En la Tabla N° 4 se presenta los valores de crecimiento individual, por hectárea y sobrevivencia de las dos fuentes de semilla en los dos sitios y para las tres edades evaluadas. Los resultados de la prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de los errores, análisis de varianza se presentan en anexos (Tabla A1 – A4).

El resultado de los análisis indica que existen diferencias significativas entre las edades, en el DAP, la altura y el volumen individual en todas las situaciones evaluadas.

Tabla N° 4. Valores de crecimiento de las parcelas evaluadas.

Sitios	Jeeralang					Chivilingo					
	Litoral			Sureste		Litoral			Sureste		
<b>Edad (años)</b>	8,6	10,7	13	7,6	9,8	6,9	9,1	11,4	6,6	8,7	11,1
<b>DAP (cm)</b>	16,3 c	17,2 b	21 a	18,2 b	19 a	19,3 c	20 b	22 a	17 c	18,1b	20,2 a
<b>Altura (m)</b>	19 c	20,2 b	24 a	22,2 a	22,4 a	17,5 c	19,1b	21,4 a	19,2 c	21,4 b	22, 4a
<b>Vol/árbol (m<sup>3</sup>)</b>	0,16 c	0,20 b	0,26 a	0,24 b	0,27 a	0,21 c	0,24 b	0,35 a	0,17 c	0,24 b	0,33 a
<b>Vol/ha (m<sup>3</sup>)</b>	228	258	314	190	292	139	148	165	181	254	345
<b>IMA (m<sup>3</sup>/ha/año)</b>	25	24	24	25	30	20	16	14	31	29	31
<b>Sobrevivencia (%)</b>	92	92	80	86	82	69	69	60	74	74	66

De las variables analizadas se observa un aumento de los valores de DAP, altura y volumen con un incremento en la edad de cosecha en todas las parcelas, salvo Jeeralang Litoral en la edad 1 y 2 en donde no se detectan diferencias significativas en el diámetro y para Jeeralang Sureste en la altura en un período de 2 años aproximadamente (Tabla N° 4). Sin embargo, el resto de las especies tuvieron incrementos significativos lo cual puede explicarse por una mejor adaptación a la zona.

El volumen acumulado por hectárea alcanza los máximos valores con un aumento de la edad de cosecha aunque a tasas variables en cada una de las situaciones (Figura N° 2).

Los resultados del IMA obtenidos solo son mayores en la tercera edad de cosecha con el origen Jeeralang en la zona Sureste aunque esta tendencia no fue verídica por un análisis de varianza. En esa zona Jeeralang y Chivilingo registran valores de IMA de 30 y 31 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. Los valores obtenidos en la zona del Litoral en promedio son inferiores a los mencionados, explicado por diferencias de adaptación de la especie a los distintos sitios forestales del país (Doldán, 2007). (Figura N° 3).

Los incrementos son crecientes solo para el caso de *Jeeralang* en la zona Sureste mientras que relativamente constantes con Chivilingo en la zona Sureste y Jeeralang Litoral. Chivilingo en la zona de Litoral es la única situación en donde ocurre una disminución el IMA probablemente explicado por el aumento de la mortalidad de los árboles (Imaña y Encinas, 2008).

En cuanto a la sobrevivencia *Jeeralang* es la fuente de semilla que alcanza el mayor valor, con un promedio de 80 % en Litoral y 82 % en el Sureste (por lo tanto, mayor producción por hectárea) (Balmelli, 1992). El origen Chivilingo registra un valor medio de sobrevivencia de 60 % en el Litoral y 66 % en el Sureste. Los valores de sobrevivencia se mantienen prácticamente constantes de ambos materiales genéticos para las dos primeras edades, observándose una disminución en la última edad de cosecha aunque de menor magnitud. Los valores más altos registrados en la zona Sureste podrían estar explicados por una mejor adaptación al ambiente lo cual se traduce en una mayor tolerancia a enfermedades (Resquin y Balmelli, 2005).

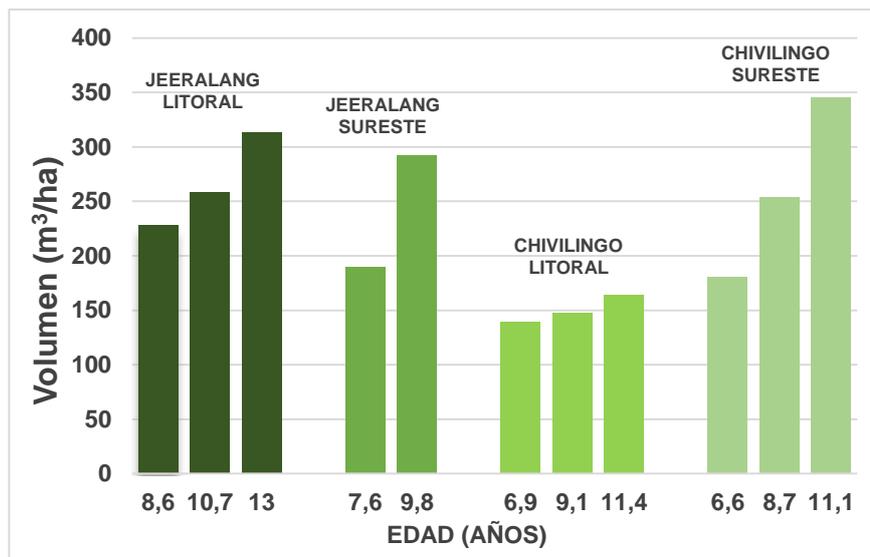


Figura N° 2. Volumen acumulado de ambas fuentes de semillas en los sitios y edades evaluadas.

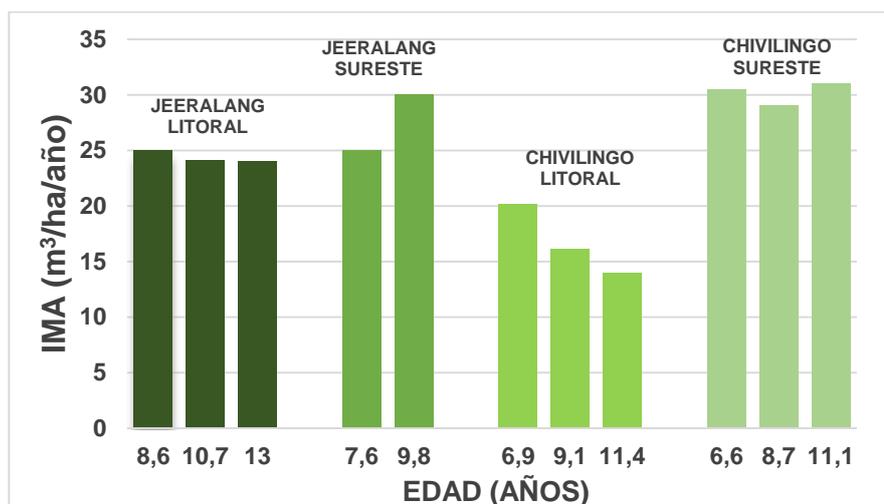


Figura N° 3. Incremento Medio Anual del volumen de ambas fuentes de semilla en los sitios y edades evaluadas.

## 7.2. PULPEO Y PRODUCTIVIDAD DE CELULOSA

En la Tabla N° 5 se presentan los valores de densidad de la madera, resultados del pulpeo y productividad de celulosa por hectárea. Los resultados del test de Kolmogrov-Smirnov (normalidad), Levene (homogeneidad) e independencia de los errores para la variable densidad de la madera, se presentan en anexos (Tabla A1 - A4).

El análisis de varianza detecta diferencias en la densidad básica en tres de las cuatro situaciones evaluadas, mostrando que esta variable aumenta a medida que se incrementa el turno de corte. El incremento de la densidad está asociado a un aumento del espesor de la pared de las fibras. Los incrementos en la densidad de la madera son de 6 %, 5.5 % y 16 % en las parcelas de Jeeralang en Litoral y Chivilingo en Litoral y Sureste de la última con respecto a la primera edad de cosecha, respectivamente (Figura N° 4).

Se aprecia que existen diferencias entre las tres edades en las parcelas evaluadas, a excepción de la parcela de Jeeralang en la zona Sureste (Tabla N° 5). Esto indica que no ocurren cambios con los aumentos en amplitud de los turnos de cosecha analizados salvo en el sitio mencionado. Esto coincide con lo obtenido por Foelkel (1978), en el sentido de que las maderas con estas edades (6 a 11 años) se encuentran en un proceso de transición de "juveniles" a "adultas", período en el cual no ocurrirían grandes cambios.

Tabla N° 5. Valores de densidad básica, pulpeo y productividad de las fuentes de semillas, sitios y edades evaluadas.

Sitios	Jeeralang					Chivilingo					
	Litoral			Sureste		Litoral			Sureste		
<b>Edad (años)</b>	8,6	10,7	13	7,6	9,8	6,9	9,1	11,4	6,6	8,7	11,1
<b>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,55b	0,55b	0,58a	0,52a	0,53a	0,53b	0,54b	0,57a	0,50b	0,52b	0,58a
<b>Álcali activo (%)</b>	14,7	14,5	15,4	14,1	13,1	14,9	13,8	14,9	13,7	12,5	12,9
<b>N° Kappa</b>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Rendimiento depurado (%)</b>	50,4	50,7	51,3	52,2	54,1	51	52,5	51,7	53	54,9	55,8
<b>Consumo (m<sup>3</sup>/ton cel)</b>	3,2	3,2	3,0	3,2	3,1	3,2	3,1	3,1	3,3	3,1	2,8
<b>Producción Celulosa (ton./ha)</b>	64,1	73,3	93,4	58,8	65	38,7	42,7	48,6	49,1	74,7	111,7
<b>Producción Celulosa (ton./ha/año)</b>	7,5	6,8	7,2	6,9	6,6	5,6	4,7	4,3	7,4	8,6	10,1
<b>Tss/ton. Cel.</b>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0

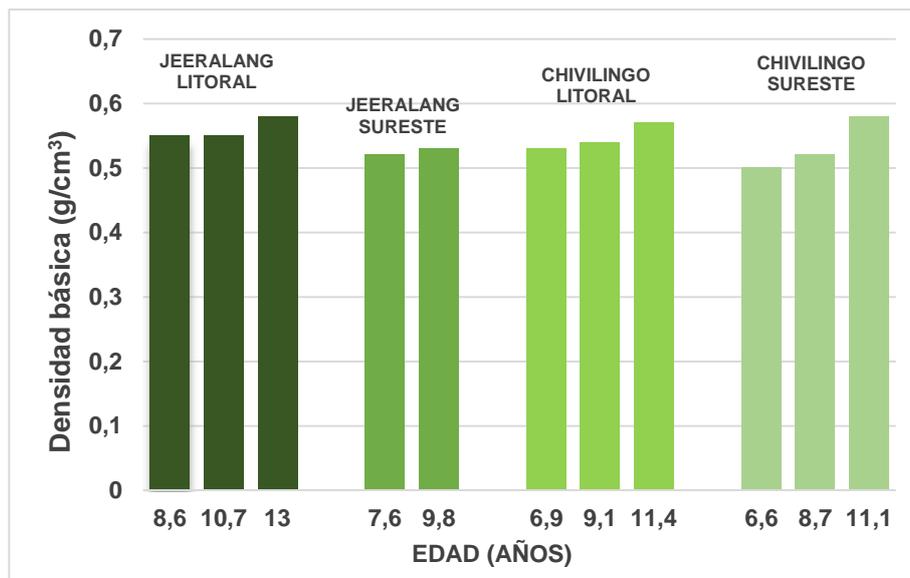


Figura N° 4. Valores de densidad de la madera en los sitios y edades evaluada.

Se observa un ligero aumento en el rendimiento de celulosa con edades más avanzadas que podría estar asociado a una mejora en la facilidad de remoción de algunos componentes como la lignina o los extractivos, aunque no fue verificado mediante el análisis de varianza (Figura N° 5). Esto podría estar asociado al efecto de la densidad de la madera ya que con rangos de densidades de 400 a 600 kg/m<sup>3</sup> existe una mayor disponibilidad de madera para el proceso de pulpeo y por tanto, se obtendría una mayor cantidad de celulosa. Como ya se ha mencionado, existe una serie de parámetros que inciden en el proceso de pulpeo como la permeabilidad de la pared celular, el contenido de pentosanos, la relación siringila/guaicila (S/G) y el contenido de extractivos (Foelkel et al, 1992; Reina y Resquin, 2011), afectando de esta manera la densidad y rendimiento.

Por lo tanto, un mayor contenido de estos parámetros provocaría la obtención de una menor cantidad de pulpa y por lo tanto un menor rendimiento de pulpeo. La presencia de estos dificulta el acceso del licor de cocción a la madera, lo cual lleva a que se utilicen cargas de álcali mayores provocando un menor rendimiento por una mayor disolución de celulosa y hemicelulosa (Almeida y De Jesús, 2001). El contenido varía significativamente con la edad del árbol, con el valor más bajo en los árboles jóvenes y los más altos en los árboles adultos.

El tenor de lignina tiende a disminuir con la edad debido a que las maderas con mayor proporción de madera juvenil poseen más lignina y menor contenido de celulosa que la madera madura (Vital et al, 1984; Alencar, 2002).

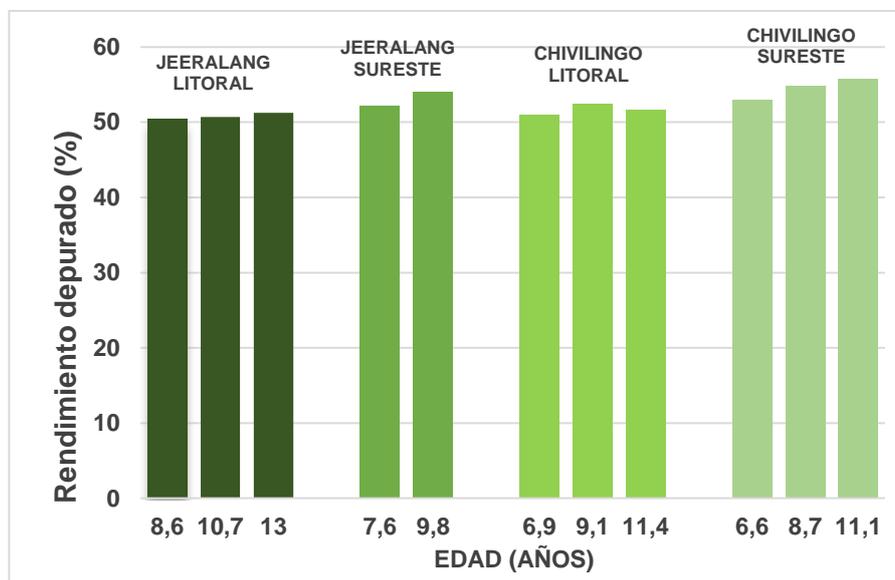


Figura N° 5. Valores de rendimiento depurado en pasta de las fuentes de semillas sitios y edades evaluadas.

También podemos apreciar que se alcanza el mismo grado de delignificación ( $N^{\circ}$  Kappa) con una menor concentración de álcali activo al aumentar la edad de cosecha. Esto indicaría una mayor facilidad en la remoción de la lignina, los extractivos o ambos. Con respecto a la lignina podría ocurrir una disminución en el contenido de la madera o un aumento de la reactividad de ésta, determinada por la relación S/G como fue mencionado anteriormente. Este aumento de los rendimientos con concentraciones relativamente estables podría generar una reducción de la cantidad de sólidos totales generados por tonelada de celulosa producida y, al mismo tiempo una reducción de la carga química del sistema de recuperación del licor de cocimiento. La disminución del valor del contenido de sólidos generados con el incremento de la edad de corte se observa en todas las parcelas evaluadas. La parcela de Chivilingo en Sureste es la que registra el menor valor (1,0 tss/ton cel) al cambiar el turno de cosecha de 6,6 a 11,1 años. Los valores de sólidos en el licor de cocimiento son más bajos que los normalmente obtenidos a nivel de planta, el cual se aproxima a 1,5 tss/ton cel. De acuerdo con este parámetro

se observa que en todas las parcelas evaluadas ocurre una mejora en la eficiencia del proceso de pulpeo con el incremento de la edad de cosecha. El aumento del rendimiento pulpable con el incremento de la edad de corte determina en todos los casos una disminución del valor de consumo de madera, detectándose un mayor nivel de reducción (9,7 %) en la parcela de Chivilingo en la zona de Sureste (Tabla N° 5).

En todos los casos se observa que el incremento en la productividad de celulosa por hectárea está explicado en mayor medida por el crecimiento que por la densidad y el rendimiento pulpable, como fuera señalado anteriormente debido, al reducido cambio en las propiedades pulperas de la madera en las distintas edades de cosecha (Tabla N° 4).

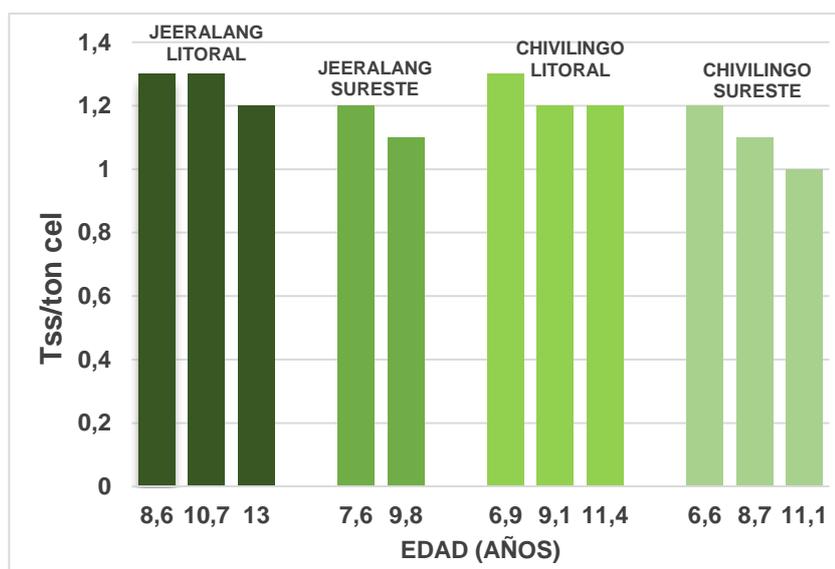


Figura N° 6. Valores de sólidos en el licor de cocimiento de las fuentes de semillas, en los sitios y edades evaluadas.

### 7.3. LONGITUD DE FIBRAS Y PROPIEDADES PAPELERAS

En la Tabla N° 6 se presentan los valores de longitud, resistencia a la tracción y al desgarró con tres niveles de refinó de las dos fuentes de semillas, sitios y edades evaluadas.

Tabla N° 6. Longitud de fibras y propiedades papeleras de resistencia a diferentes niveles de refinó para las dos fuentes de semillas en los tres momentos de cosecha.

Sitios	Jeeralang						Chivilingo					
	Litoral			Sureste			Litoral			Sureste		
Edad (años)	8,6	10,7	13	7,6	9,8		6,9	9,1	11,4	6,6	8,7	11,1
Longitud de fibras (micras)	863a	890a	936a	866a	948a		888a	972ab	1013a	863a	987a	982a
Grado de refinó	Revoluciones											
Sin refinó	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	Tracción x Desgarro											
	156	244	204	164	237		189	256	228	153	236	190
	% Incremento											
		56	31		35			45	21		54	24
CSF 400	Revoluciones											
	3000	2873	3015	3000	2873		3000	2873	2683	3000	2873	2620
	Tracción x Desgarro											
	696	706	715	664	761		714	879	714	606	847	787
	% Incremento											
		2	3		15			23	0		40	30
SR° 25	Revoluciones											
	2370	1929	2045	2370	1929		2370	1929	1976	2370	1929	2000
	Tracción x Desgarro											
	644	678	644	620	710		679	824	675	577	777	762
	% incremento											
		5	0		15			21	-1		35	32

Analizando los valores de longitud de fibra obtenidos para las tres edades de cada sitio se observa un incremento de la misma, lo cual debería provocar una mejora de las propiedades papeleras (Tabla N° 6). Este aumento se detiene a partir de cierto momento, manteniéndose una longitud promedio relativamente constante por el resto del crecimiento del árbol (Panshin y Zeeuw, 1970). En *E.globulus*, ocurre un aumento continuo en el largo de las fibras hasta aproximadamente los 10 años de edad, momento a partir del cual ocurriría una estabilización de largo de las fibras y por tanto la formación de madera adulta a edades superiores a esta.

En la parcela de Chivilingo Litoral se observa que el largo de las fibras a los 6,9 años presenta una mayor dispersión que la registrada en la edad 11,4 años.

Los valores promedio de largo de fibra obtenidos son muy similares entre todas las parcelas evaluadas. La diferencia observada es atribuible al cambio en la longitud de fibra (más cercana a la corteza), como producto del crecimiento experimentado en los tres años.

Las características de las fibras determinan las propiedades papeleras porque estas son el elemento anatómico más abundante de la madera (Foelkel, 2007) representando alrededor del 65 % de la misma para el caso de *E. globulus* (Barrichelo y Brito, 1976).

La evolución de la resistencia de las fibras es en todos los casos positiva ( $\%DIF > 0$ ), lo cual indica que en todos los casos evaluados se produce una mejora en la resistencia del papel formado al aumentar la edad de cosecha. Esta mejora es atribuible en mayor medida al aumento en la longitud de fibra, lo cual se observa en la mayor respuesta (porcentaje de incremento) en las resistencias de las fibras sin refinar con respecto a las pulpas refinadas.

La influencia del largo de las fibras en las propiedades de resistencia del papel se explica por el hecho de que con fibras más largas hay menor posibilidad de que las mismas sean separadas de la estructura del papel cuando este es sometido a un esfuerzo. Por otro lado, con fibras más largas se incrementa la capacidad de desfibramiento durante el proceso de refino aumentando por tanto la capacidad de interligamiento entre fibras (Barrichelo y Brito, 1976).

En todas las parcelas se observa que en el segundo muestreo existe un menor requerimiento de energía para alcanzar algunos de los grados de refino más utilizados a nivel industrial. De la misma forma, se observa que la respuesta a la intensidad de refino está relacionada con la densidad de la madera, destacándose el mejor desempeño de la parcela de Chivilingo en la zona Sureste con un incremento del 35 % en la resistencia al cambiar en dos años el turno de cosecha. El extremo opuesto lo obtiene la parcela de Jeeralang en la zona Litoral con un incremento de 5 %. Este diferente comportamiento podría estar relacionado al espesor de la pared de las fibras (Scaramuzzi, 1961; Repetti, 1990; Foelkel et al, 2007).

Los valores obtenidos en el segundo momento de cosecha presentan pocas diferencias en los valores de tensión por el desgarramiento cuando la intensidad de refinado es cero. Esto estaría indicando que la calidad de la fibra

se vio incrementada en los tres años y encontrándose al mismo nivel que las pulpas de origen comercial. Esta mejora en la calidad de las fibras está asociada al aumento de la longitud y algunos aspectos de la composición química.

*E.globulus* se caracteriza por presentar altos valores de resistencia debido al alto contenido de hemicelulosas con respecto a otras especies de *Eucalyptus* (Queiroz, 1972; Bustamante y de los Santos, 1981). El incremento de la intensidad de refinado indica que el Chivilingo tiene una mejor aptitud (mayor a 25 %).

#### 7.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

En la Tabla N° 3 se observa que los costos se concentran, en los primeros años, sobre todo por inversión, plantación, control de malezas, hormigas y mantenimiento.

En los años siguientes, los costos de mantenimiento, protección o labores silviculturales son mínimos, excepto en el último año.

En la Tabla N° 7 se presentan los diferentes indicadores económicos que fueron analizados para las distintas edades de cosecha, fuentes de semilla y sitios. La información detallada se presenta en anexos (Tabla A5 – A8).

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las inversiones tienen viabilidad debido a que la TIR y el VES dan valores positivos y superiores a la tasa de interés considerada (7 %).

Tabla N° 7. Costos económicos para las fuentes de semillas y sitios en los tres momentos de cosecha.

Fuentes de semilla	Jeeralang					Chivilingo					
	Litoral			Sureste		Litoral			Sureste		
Edad (años)	8,6	10,7	13	7,6	9,8	6,9	9,1	11,4	6,6	8,7	11,1
Flujo de caja (U\$S/ha)	21360	18799	23306	21360	21635	9212	9815	11121	12659	18561	25895
TIR (%)	23	19	18	24	23	24	15	13	28	25	20
VES (U\$S/ha)	6145	5092	4935	5656	6681	4440	2436	2091	6500	6947	6460

Los resultados de los flujos de caja (informe financiero que presenta un detalle de los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado) son diferentes para las dos fuentes de semilla. Con Jeeralang en los dos sitios se obtienen valores relativamente estables en los turnos de cosecha evaluados mientras que Chivilingo registra un incremento con edades más avanzadas de cosecha en ambos sitios.

Para todos los turnos de cosecha el flujo de caja fue positivo lo cual es un indicador de que el aumento de las edades de cosecha no inviabiliza las inversiones.

El Valor económico del suelo (VES), es un indicador muy útil para determinar el monto máximo de dinero que se está dispuesto a pagar en un largo plazo; en otras palabras, es el valor actual de todos los beneficios futuros netos generados por el suelo después de varias rotaciones. Los resultados obtenidos indican que en todos los sitios hay resultados económicos que permiten aceptar los proyectos.

Jeeralang en la zona Sureste es la única situación en la que un turno de cosecha más largo permite obtener mayores beneficios económicos (U\$S/ha 6681 vs. U\$S/ha 5656, para las edades de 9,8 y 7,6 años, respectivamente). Las dos fuentes de semilla plantadas en el litoral son las que registran una reducción del resultado económico con turnos de cosecha de mayor duración asociado a la reducción o estancamiento del nivel de crecimiento con el incremento de la edad. Chivilingo en la zona Sureste es la única situación en donde el resultado económico se mantiene con pocos cambios relativos en las tres edades evaluadas. Teniendo en cuenta el momento en donde se alcanza el máximo valor del VES correspondiente al óptimo financiero es posible identificar a los turnos más cortos en la zona del Litoral e intermedio en Litoral como los de mayor rendimiento económico. Esto se corresponde a las edades de 8.6 y 6.9 años para el Litoral (Jeeralang y Chivilingo, respetivamente) y 8.7 años para Chivilingo en Sureste (Restrepo et al, 2012).

El criterio para la aceptación o rechazo de un proyecto en función de la TIR es el siguiente:

Si la TIR es mayor a la tasa de descuento, se acepta el proyecto de inversión: Si la TIR es igual a la tasa de descuento, se presentaría una situación en donde se debería cuestionar si aceptamos o no el proyecto. En cambio, si los valores de la TIR son menores debemos rechazar el proyecto, ya que no se alcanza la rentabilidad mínima (Martínez Stone, 2004).

En la Tabla N° 7 se observa que en todos los casos el mayor porcentaje de TIR se obtiene en las edades menores a partir de las cuales registra una reducción en todos los turnos evaluados. No obstante, la TIR en todos los sitios registra valores superiores a la tasa de descuento, generando una ganancia o beneficio adicional y garantizando la variabilidad de todos los proyectos.

## **8. CONCLUSIONES**

Las dos fuentes de semilla en los dos sitios alcanzan volúmenes acumulados mayores con el aumento de la edad de cosecha, con tasas anuales más altas en la zona Sureste.

Jeeralang Litoral es la fuente de semilla que crece menos pero obtiene mejores propiedades de la madera.

Los resultados del IMA son relativamente constantes, salvo Jeeralang en la zona Sureste debido a una mayor adaptación de la especie a esa zona del país.

La sobrevivencia es constante en ambos materiales genéticos para las dos primeras edades, observándose una disminución en la última edad de cosecha aunque de menor magnitud.

La densidad de la madera aumenta significativamente al aumentar la edad de cosecha lo que sumado al incremento del rendimiento de celulosa y crecimiento determina un incremento en la productividad de celulosa por hectárea y una mejora en el proceso de conversión de madera en celulosa.

El aumento de la edad de los árboles determina en todos los casos un incremento en la longitud de fibra. La evolución de la resistencia de las fibras es en todos los casos positiva, produciéndose mejoras en el desempeño del papel formado atribuible al aumento en la longitud de las fibras. También se obtiene una respuesta similar en cuanto a las necesidades de procesamiento de las fibras para obtener un determinado grado de refino.

Desde el punto de vista de los resultados económicos se obtiene que el momento óptimo de cosecha es en edades tempranas para la zona del Litoral (7 a 8.5 años) y en edades más avanzadas en la zona Sureste (8.5 a 10 años).

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.A.; DE JESÚS, D. 2011. Efeito da quantidade de extractivos e da acessibilidade do licor na polpação kraft de clones de *Eucalyptus*. Congreso anual de celulose e papel. (34, 2011, Santa Maria, Brasil). Dos Santos, R.; De Mello, J.; Caraschi, J.; Ventorim, G.; Pereira, F. Universidad de Federal de Santa Maria, Brasil. ABTCP. p.12.
- ALENCAR, G. 2002. Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. (en línea). Brasil. Consultado: 25 Abr. 2019. Disponible en: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20190821-132709/publico/AlencarGlauciaSoaresBarbosa.pdf>
- ALLEN, L.; BACK, E. 2000. Pitch Control in Pulp Mills. Wood Resin and Deresination. TAPPI PRESS, Atlanta, USA. 392 p.
- ALVAREZ, J.; FALCAO, O. 2011. Manual de Gestión de Empresas Agropecuarias. 2a. ed. Montevideo: Facultad de Agronomía, UDELAR. 179 p.
- BACKMAN, M.; GARCIA DE LEON, J. 2003. Correlations of pulp and paper properties at an early age and full rotation age of five *Eucalyptus* species. Lisboa: EUCEPA. 9 p.
- BALMELLI, G. 1992. Avances en mejoramiento genético de *Eucalyptus globulus* en el programa Nacional Forestal de INIA. (en línea). Uruguay. Consultado el 27 Abr. 2020. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/tb/ad/2002/informe-2.pdf>
- BALMELLI, G. 2002. Estrategia de mejoramiento genético en *Eucalyptus globulus*. (en línea). Uruguay. Consultado: 10 Ago. 2020. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14432210909103325.pdf>
- BALMELLI, G.; RESQUIN, F.; SIMETO, S.; TORRES, D.; NÚÑEZ, P.; RODRÍGUEZ, F.; GONZÁLEZ, W. 2008. Programa Nacional de Producción Forestal. (en línea). Uruguay. Consultado: 10 Ago. 2020. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3260/1/Revista-INIA-36-p.-36.pdf>
- BALMELLI, G.; ERRAMUSPE, M. 2016. Revista forestal. (en línea). Uruguay. Consultado 2 Jul. 2019. Disponible en: <http://www.revistaforestal.uy/silvicultura/al-rescate-del-eucalyptus-globulus.html>

- BARRICHELO, L.; BRITO, J. 1976. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a industria de celulose e papel. Brasil. (PRODEPEF. Série divulgação, 13). 145 p.
- BUSTAMANTE, L.; DE LOS SANTOS, J. 1981. Aptitudes de diferentes espécies de *Eucalyptus* como matéria prima celulósica. En: Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel (2, 1981, Torremolinos, Málaga, España). Memoria. Málaga, Instituto Papelero español. 317 p.
- BOEYKENS, S. 2006. Procesos para la producción de papel y pulpa: de la naturaleza a la mesa. (en línea). Argentina. Consultado: 27 Mar. 2019. Disponible en: [http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/encrucci/index/assoc/HWA\\_416.dir/416.PDF](http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/encrucci/index/assoc/HWA_416.dir/416.PDF)
- CHACÓN, I. 1995. Decisiones económicas financieras en el manejo forestal. Talca: Universidad de Talca. 245 p.
- CHANG. 1984. Determination of the optimal rotation age: a theoretical ANALYSIS. (en línea). USA. Consultado: 28 Ago. 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378112784900318>
- CHILE. Ley Fomento Forestal no. 701. MINAGRI (Ministerio de Agricultura de Chile). 1974. Santiago, Chile. 18 p.
- CRECHI, E.; FASSOLA, EH.; BARTH, S.; KELLER, A.; COSTA, J. 2006. Comparación para la mesopotamia y ajuste para Misiones. En: Simposio de Corrientes Argentina, de ecuaciones de volumen total para *E. grandis* Hill ex Maiden. En: Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, (12, 2006, Misiones, Argentina). FCF UNAM - INTA. Misiones, Argentina, UNAM, INTA. p. 29.
- DANE, T.; HENSON, M.; BILL, J.; BOYTONROSS. S.; DICKSON, R. 2008. Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus dunnii*. Maiden. (en línea). USA. Consultado: 3 Abr. 2020. Disponible en: <file:///E:/en%20ingles%20tiene%20los%20densidades%20carc%20pulpa%20etc.pdf>
- DOLDÁN, J. 2007. Evaluación de parámetros de calidad de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii* de plantaciones uruguayas para pulpa de celulosa. Nota técnica. Uruguay: LATU. 8 p.
- DOLDÁN, J.; FARIÑA, I.; TARIGO, F. 2008. Utilización de *Eucalyptus spp.* Alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft. Uruguay: INNOTEC. 34 p.
- ELDRIDGE, K.G.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.E.; VAN WYK, G. 1994. *Eucalypt Domestication and Breeding*. Reino Unido: Oxford. 288 p.

- FERREIRA, C.; DONIZETTE, A.; SOARES, R; PEREIRA, J. 2004. Rotação econômica de plantios de *eucalyptus grandis* para a produção de celulose. (en línea). Brasil. Consultado: 10 Jun. 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74410207.pdf>
- FERNÁNDEZ IBAÑEZ, C. 2001. Boletín del Museo de las Villas Pasiegas. (en línea). España. Consultado: 2 Jul. 2019. Disponible en: [https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la\\_madera\\_BMVP-2001.htm](https://grupos.unican.es/acanto/aep/bolpas/la_madera_BMVP-2001.htm)
- FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. 1992. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. (en línea). Brasil. Consultado: 12 May. 2019. Disponible en: <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Db%20sua%20verdadeira%20utilidade.pdf>
- FOELKEL, C. 1978. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. Brasil. Belo Oriente: CENIBRA. 25 p.
- FOELKEL, C. 2007. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. (en línea). Brasil. Consultado: 2 Dic. 2019. Disponible en: [http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03\\_fibras.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf)
- FOELKEL, C. 2011. Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose kraft. (en línea). Brasil. Consultado: 28 Ago. 2019. Disponible en: [http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24\\_ElementosNproces.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosNproces.pdf)
- GRANT, JC.; NICHOLS, J.D.; SMITH, R.G.; BRENNAN, P.; VANKLAY, J.K. 2010. Site index prediction of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantations with soil and site parameters in sub tropical eastern Australia. (en línea). Australia. Consultado: 11 Jun. 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/313826932>
- HOFFMAN, R.; BERGER, R. 1973. DETERMINAÇÃO DA IDADE ÓTIMA DE CORTE DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus*. (en línea). Brasil. Consultado: 28 Ago. 2020. Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr07/cap02.pdf>
- HUU-DUNG, N.; YEO-CHANG, Y. 2012. Optimum harvesting time and clone choices for eucalyptus growers in Vietnam. (en línea). USA. Consultado: 20 Ago. 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934111001663>
- IMAÑA, J.; ENCINAS, B. 2008. Epidometria Forestal. (en línea). Brasil. Consultado: 27 Abr. 2020. Disponible en: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO\\_EpidometriaForestal.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf)

- INNOVA PORTAL. 2016. Informe Mensual de Comercio Exterior. (en línea). Uruguay. Consultado: 17 Set. 2019. Disponible en: <https://www.aduanas.gub.uy/innovaportal/file/16016/1/informe-mensual-de-comercio-exterior-julio-2016.pdf>
- ISO (International Organization Standardization). 2002. ISO 5264-2: 2002: Pulps - Laboratory beating. Part 2: PFI mill method. Geneva: ISO. 16 p.
- ISO (International Organization Standardization). 2005. ISO 5269-1: 2005: Pulps - Preparation of laboratory sheets for physical testing. Part 1: Conventional sheet-former method. Geneva: ISO. 7 p.
- ISO (International Organization Standardization). 1998. ISO 5270: 1998. Pulps - Laboratory sheets –Determination of physical properties. Geneva: ISO. 8 p.
- MCGINNIS, G.P.; SHAFIZADEH, F. 1980. Cellulose and hemicellulose. En: Casey. J. (ed.). Pulp and paper chemistry and chemical technology. 3a ed. New York: John Wiley & Sons. 38 p.
- MIRANDA, M.; NAHUZ, R.; ANDRADE, C. 1999. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. (en línea). Brasil. Consultado: 15 Jul. 2019. Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr55/cap9.pdf>
- MIRANDA, R.; MONFORT, N.; LEAL, D.; SAUCE, S. 2005. Manual para la comercialización y producción de semillas y plantas forestales. (en línea). Madrid. Consultado: 13 Abr. 2019. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/libro\\_semillasfi\\_tcm30-100333.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/libro_semillasfi_tcm30-100333.pdf)
- MARTÍNEZ STONE, C.M. 2004. Evaluación financiera. Facultad de Economía. (en línea). Uruguay. Consultado: 6 Jun. 2020. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/MartinezSCM/cap4.pdf>
- OLMEDO, J. 2003. Anatomía de Maderas. Valdivia: Universidad Austral. Chile. 151 p.
- ORME, R. 1983. Progress with *E. globulus* provenance research. *Silvicultura*. 8(31) 483-6 p.
- PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. 1970. Textbook of wood technology. 3a. ed. New York: Mcgraw-Hill. 391 p.
- PASEYRO, J. 2015. Revista forestal. (en línea). Uruguay. Consultado: 29 May. 2019. Disponible en: <http://www.revistaforestal.uy/silvicultura/mas-vale-especie-conocida-que-otra-por-conocer.html>

- QUEIROZ, M. 1972. Comportamiento de varias especies de Eucalipto en la obtención de pastas sulfato. Brasil. Investigación y Técnica del Papel. 55 p.
- RAYMOND, C. 2002. Genetics of Eucalyptus wood properties. (en línea). Australia. Consultado: 11 Jun. 2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/41715997\\_Genetics\\_of\\_Eucalyptus\\_wood\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/41715997_Genetics_of_Eucalyptus_wood_properties)
- REINA, L.; RESQUIN, F. 2011. Eucalyptus globulus chemical composition and its effect on Kraft pulping parameters. En: ICEP International Colloquium on Eucalyptus Pulp, (5, 2011, Bahia, Brazil). SIF. Universidad Federal de Viçosa. p. 6.
- REPETTI, R. 1990. Relación entre las características de la madera y las propiedades del papel. En: calidad de la madera en la producción forestal. Buenos Aires: CIEF. 30 p.
- RESQUIN, F. 2002. Evaluación de varios orígenes de *Eucalyptus globulus* para la producción de celulosa (en línea). Uruguay. Consultado: 29 May. 2019. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11112/1/SAD-289p25-34pdf.pdf>
- RESQUIN, F.; DE MELLO, J.; FARIÑA, I. 2004. Caracterización de la celulosa de especies del género *eucalyptus* plantadas en Uruguay (en línea). Uruguay. Consultado: 10 Ago. 2020. Disponible en: <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807101913.pdf>
- RESQUIN, F.; BALMELLI, G. 2005. Evaluación productiva de orígenes de *eucalyptus globulus* en zonas Litoral y Norte. (en línea). Uruguay. Consultado: 25 Abr. 2020. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429160709143336.pdf>
- RESQUÍN, F.; RACHID, C.; BENNADJI, Z. 2007. Evaluación del efecto de prácticas de manejo silvicultural sobre el crecimiento de *E. grandis* (en línea). Uruguay. Consultado: 15 Jul. 2019. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7781/1/ST-159-359-368.pdf>
- RESTREPO, O.; HÉCTOR, I.; ORREGO, S.; ALONSO, S.; DEL VALLE, A.; JORGE IGNACIO.; SALAZAR, U.; JUAN CARLOS. 2012. Rendimiento, turno óptimo forestal y rentabilidad de plantaciones forestales de *Tectona grandis* y *Pinus patula*. (en línea). Colombia. Consultado: 7 May. 2019. Disponible en: <file:///C:/Users/Agroinsumos/Desktop/SOFIA%20TESIS/tir%20y%20van%20-%20precios/33922709003.pdf>

- RESTREPO, M. 2019. Rankia. ¿Qué es la TIR y para qué sirve? (en línea). España. Consultado: 10 Ago. 2020. Disponible en: <https://www.rankia.co/blog/mejores-cdts/3718561-que-tir-para-sirve>
- SAS Instituto. 1989. SAS/STAT guide for personal computers. 6a ed. Carolina del Norte: SAS Institute. 5121 p.
- SCARAMUZZI, G. 1961. First data on the volume proportions of Wood tissues in some Italian grown *Eucalyptus*. En: Conferencia mundial do eucalipto. São Paulo, Brasil: FAO. 1357 p.
- SPF (Sociedad de Productores Forestales del Uruguay). 2017. (en línea). Brasil. Consultado: 15 Jul. 2019. Disponible en: <http://www.spf.com.uy/uruguay-forestal-plantaciones>
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). 2006. Standard Test Methods. (Cd-rom). Atlanta, Estados Unido: Tappi Press.
- THOMAS, D.; HENSON, M.; JOE, B.; BOYTON, S.; DICKSON, R. 2009. Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus*. (en línea). Australia. Consultado: 17 Set. 2019. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.601.3108&rep=rep1&type=pdf>
- TURNER, C.H.; BALODIS, V.; DEAN, G.H. 1983. Variability in pulping quality of *E. globulus* from Tasmanian provenances. Victoria: Appita. 376 p.
- URUGUAY. LATU (Laboratorio Tecnológico del Uruguay). Departamento de Proyectos Forestales. 2008. Utilización de *Eucalyptus* spp. Alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft. (en línea). Uruguay. Consultado: 7 Set. 2019. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/32-Texto%20del%20art%C3%ADculo-58-1-10-20110503%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/32-Texto%20del%20art%C3%ADculo-58-1-10-20110503%20(1).pdf)
- URUGUAY. MGAP. DGF. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal). 2019. Estadística forestal 2019. (en línea). Uruguay. Consultado: 2 Oct. 2020. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-01/Estadisticas%20forestales%202019.pdf>
- VILLACURA, I. 2012. Determinación de la edad de rotación óptima para dos variedades híbridas del género *Populus* ubicadas en el valle central de la Región del Maule. (en línea). Chile. Consultado: 28 Ago. 2020. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fifv712d/doc/fifv712d.pdf>
- VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCÍA, R.M.; ANDRADE, D.C. 1984. 1984. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. Brasília. Brasil. 52 p. (Boletim Técnico IBDF no. 8).

## 10. ANEXOS

Tabla A1. Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov (normalidad), Levene (homogeneidad), test F y Test no paramétrico Kruskal-Wallis de las variables analizadas para el origen Jeeralang en la zona Sureste.

	Test de Normalidad		Test de Homogeneidad de Varianzas		Anova		Test no Paramétrico (K-W)	
	W	P	F	P	F	P	F	P
<b>Densidad básica</b>	0,95804	0,2757	0,009	0,9251	0,22	0,6397		
<b>Largo de fibra</b>	0,92	0,6055	1,013	0,3711			3,86	0,1000
<b>Altura</b>	<b>0,025404</b>	<b>0,02889</b>	<b>51,092</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			957,50	<0,0001
<b>DAP</b>	0,018812	0,193	<b>82,235</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			384,23	<0,0001
<b>Volumen individual</b>	0,017102	0,2923	<b>336,81</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			696,98	<0,0001

Tabla A 2. Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov (normalidad) y Levene (homogeneidad), test F y Test no paramétrico Kruskal-Wallis de las variables analizadas para el origen Jeeralang en la zona Litoral.

	Test de Normalidad		Test de Homogeneidad de Varianzas		Anova		Test no Paramétrico (K-W)	
	W	P	F	P	F	P	F	P
<b>Densidad básica</b>	0,97907	0,5826	12,942	0,2848	5,07	0,0106		
<b>Largo de fibra</b>	0,99	0,9988	11,929	0,3289			4,80	0,0725
<b>Altura</b>	<b>0,96566</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>	23,367	0,1265			3,35	0,0673
<b>DAP</b>	0,025706	0,1104	0,5358	0,4643			10,76	0,0010
<b>Volumen individual</b>	<b>0,95705</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>	0,0256	0,8728			11,82	0,0006

Tabla A3. Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov (normalidad) y Levene (homogeneidad) test F y Test no paramétrico Kruskal-Wallis de las variables analizadas para el origen Chivilingo en la zona Litoral.

	Test de Normalidad		Test de Homogeneidad de Varianzas		Anova		Test no Paramétrico (K-W)	
	W	P	F	P	F	P	F	P
Densidad básica	0,96401	0,1735	24,812	0,09583	9,37	0,0004		
Largo de fibra	0,97	0,8969	0,725	0,4979			7,39	0,0249
Altura	<b>0,22277</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>	<b>74,381</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			717,67	<0,0001
DAP	<b>0,051451</b>	<b>4,53E-03</b>	<b>502,92</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			13,35	0,0013
Volumen individual	<b>0,13078</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>	<b>52,428</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			98,15	<0,0001

Tabla A4. Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov (normalidad) y Levene (homogeneidad) test F y Test no paramétrico Kruskal-Wallis de las variables analizadas para el origen Chivilingo en la zona Sureste.

	Test de Normalidad		Test de Homogeneidad de Varianzas		Anova		Test no Paramétrico (K-W)	
	W	P	F	P	F	P	F	P
Densidad básica	0,95943	0,1021	0,502	0,6087	16,54	<0,0001		
Largo de fibra	0,97	0,8652	10,966	0,3579			4,16	0,1199
Altura	0,019985	0,1767	<b>35,008</b>	<b>9,31E-13</b>			563,77	<0,0001
DAP	<b>0,02766</b>	<b>0,01918</b>	<b>58,396</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			192,29	<0,0001
Volumen individual	0,016118	0,4256	<b>197,6</b>	<b>&lt; 2,2e-16</b>			334,78	<0,0001

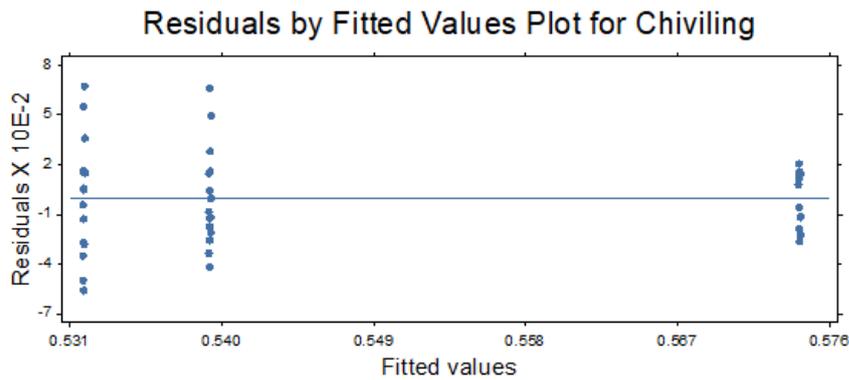


Figura A 1. Resultados de distribución de los errores de la densidad para el origen Chivilingo en la zona Sureste.

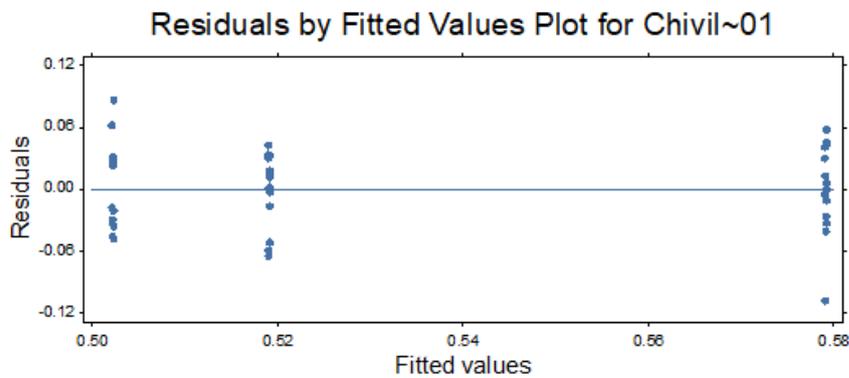


Figura A 2. Resultados de distribución de los errores de la densidad para el origen Chivilingo en la zona Litoral.

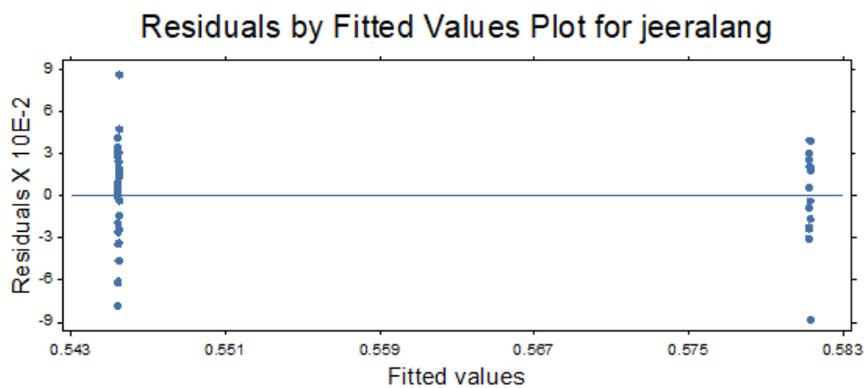


Figura A 3. Resultados de distribución de los errores de la densidad para el origen Jeeralang en la zona Sureste.

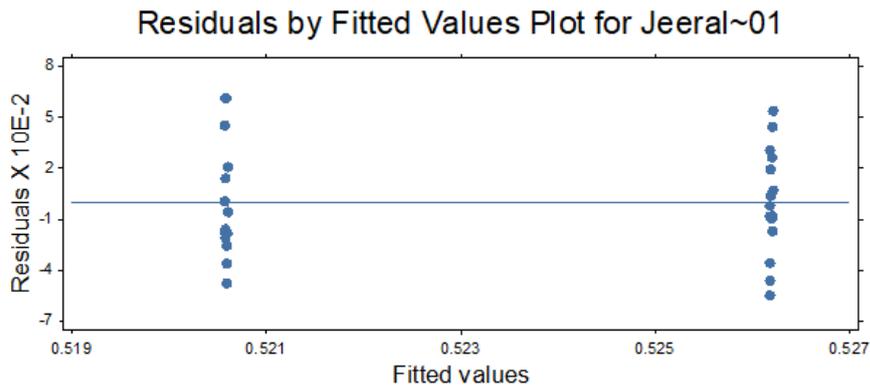


Figura A 4. Resultados de distribución de los errores de la densidad para el origen Jeeralang en la zona Litoral.

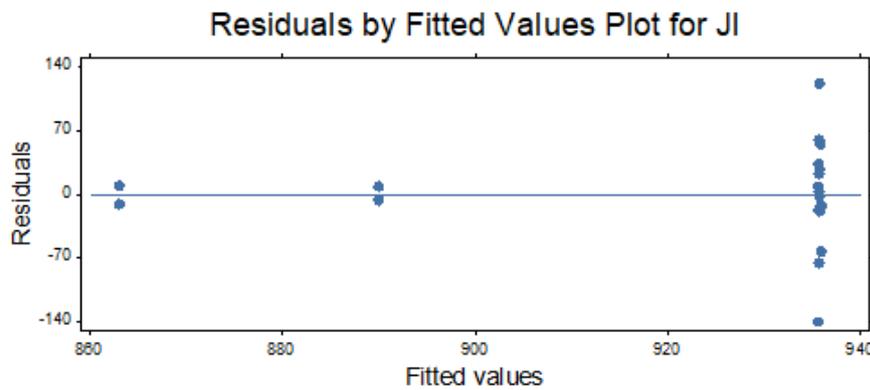


Figura A 5. Resultados de distribución de los errores del largo de fibra para el origen Jeeralang en la zona Litoral.

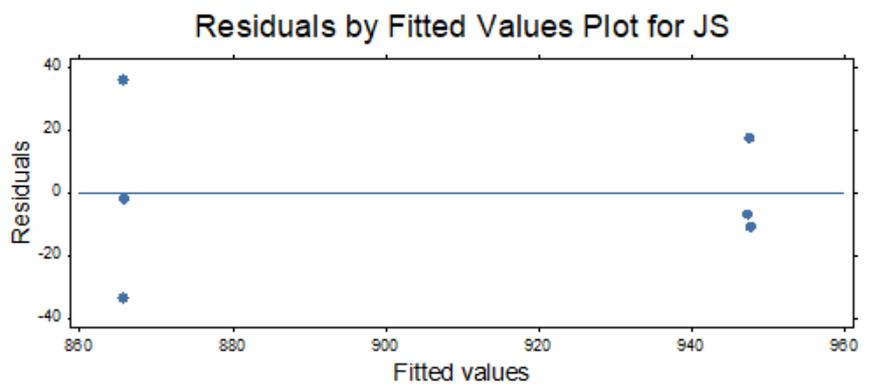


Figura A 6. Resultados de distribución de los errores del largo de fibra para el origen Jeeralang en la zona Sureste.

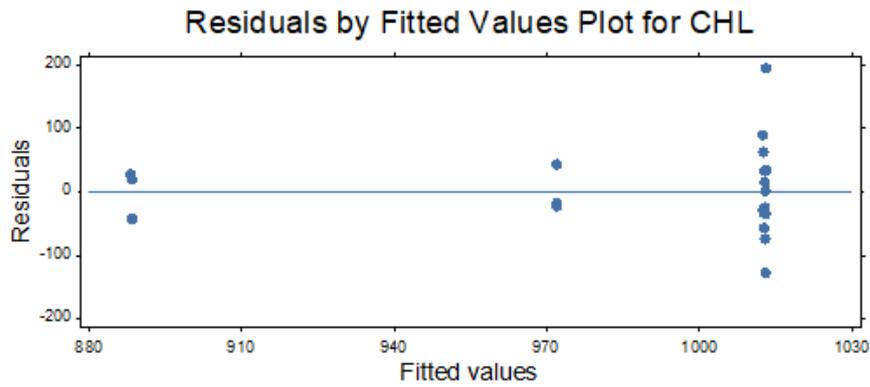


Figura A 7. Resultados de distribución de los errores del largo de fibra para el origen Chivilingo en la zona Litoral.

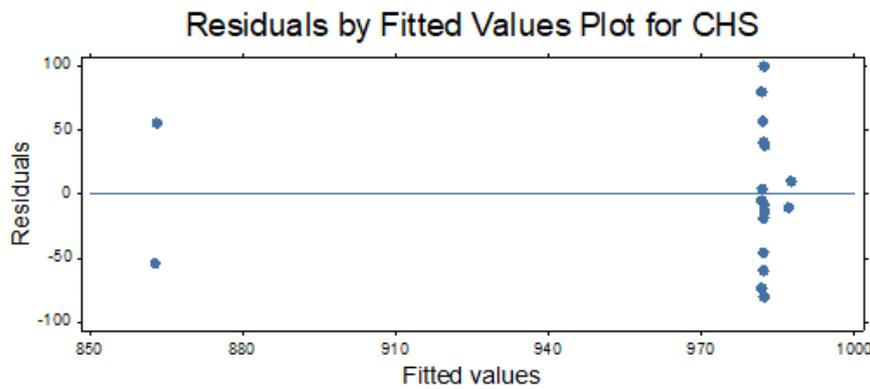


Figura A 8. Resultados de distribución de los errores del largo de fibra para el origen Chivilingo en la zona Sureste.

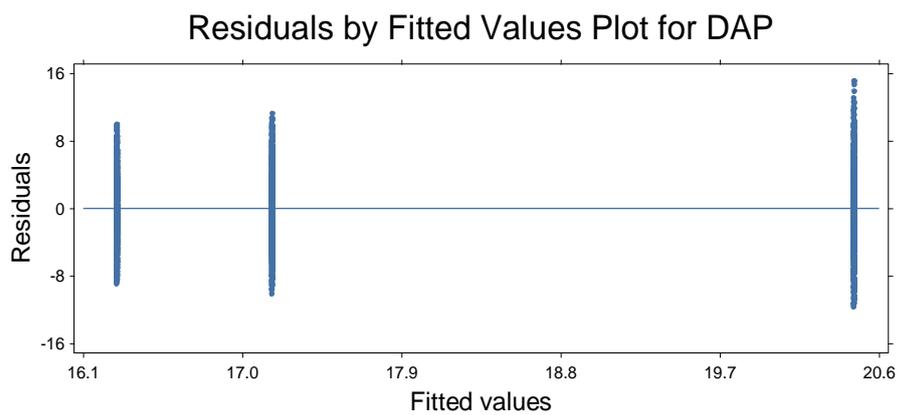


Figura A 9. Resultados de distribución de los errores para el diámetro a la altura del pecho en el origen Jeeralang en la zona Sureste.

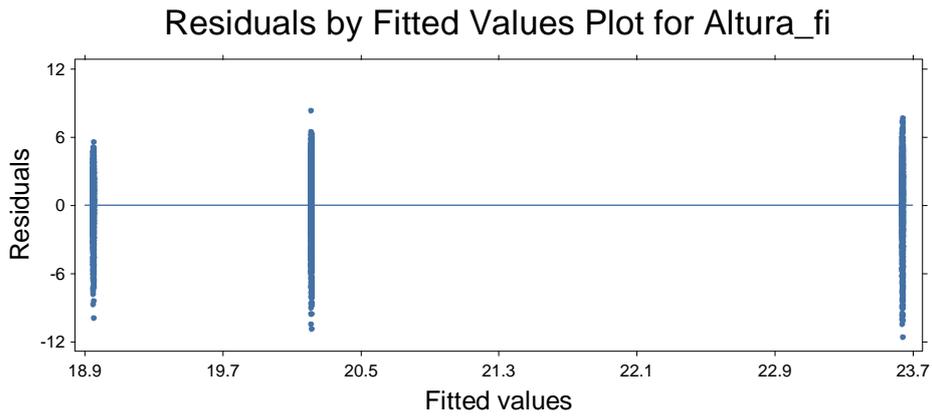


Figura A 10. Resultados de distribución de los errores para la altura del origen Jeeralang en la zona Sureste.

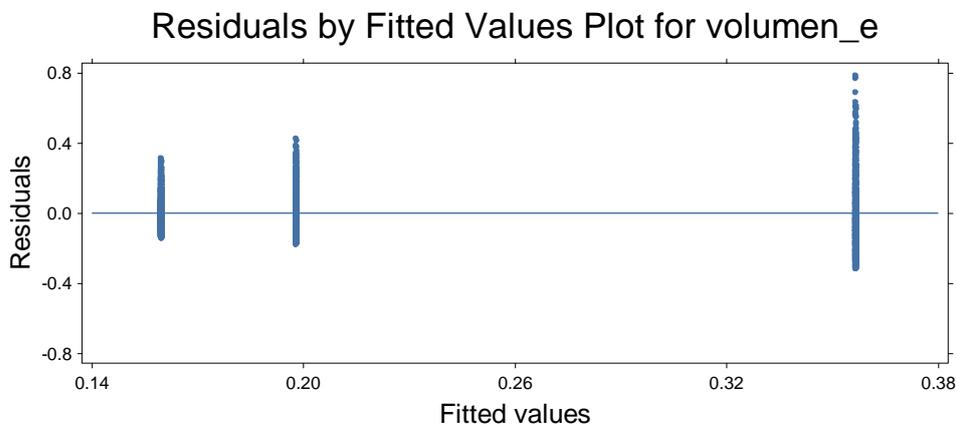


Figura A 11. Resultados de distribución de los errores para el volumen del origen Jeeralang en la zona Sureste.

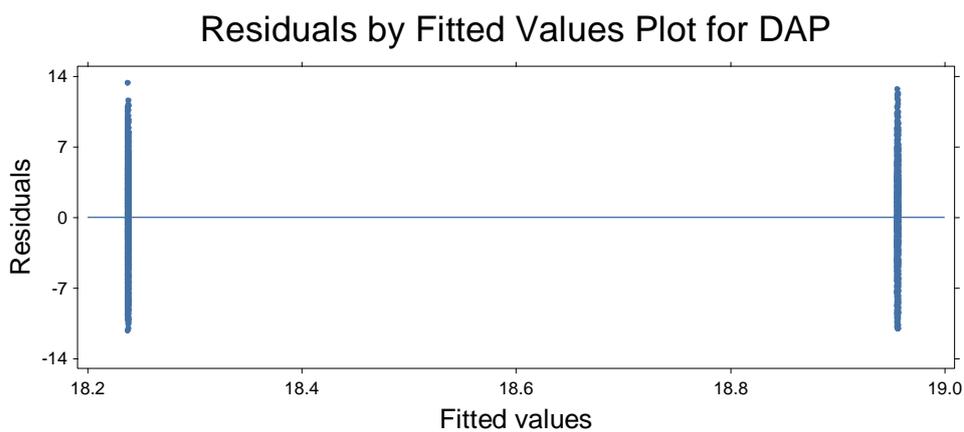


Figura A 12. Resultados de distribución de los errores para el diámetro a la altura del pecho en el origen Jeeralang en la zona Litoral.

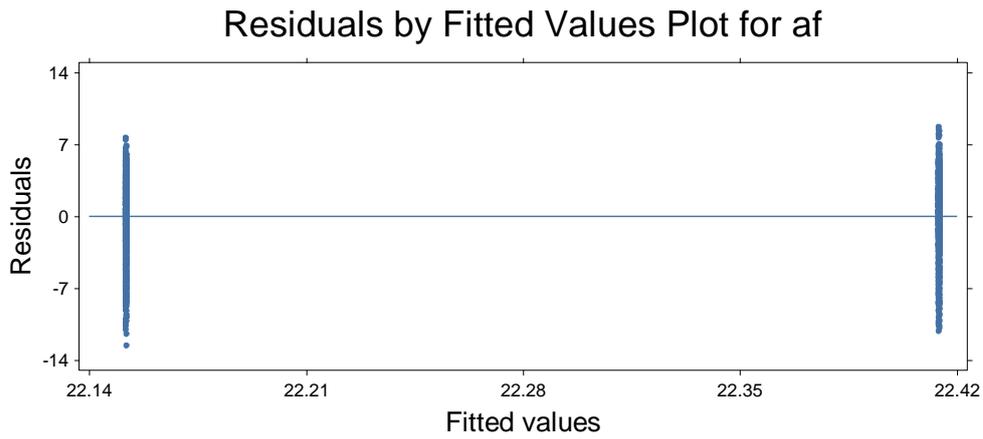


Figura A 13. Resultados de distribución de los errores para la altura del origen Jeeralang en la zona Litoral.

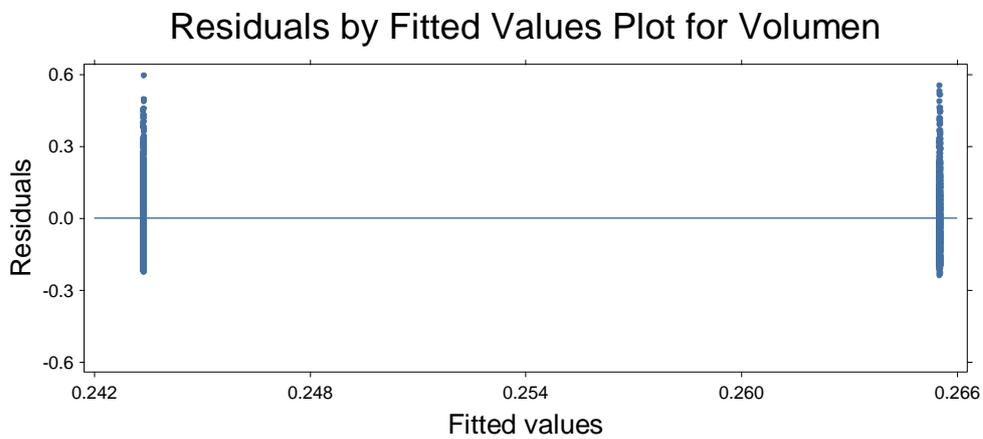


Figura A 14. Resultados de distribución de los errores para el volumen del origen Jeeralang en la zona Litoral.

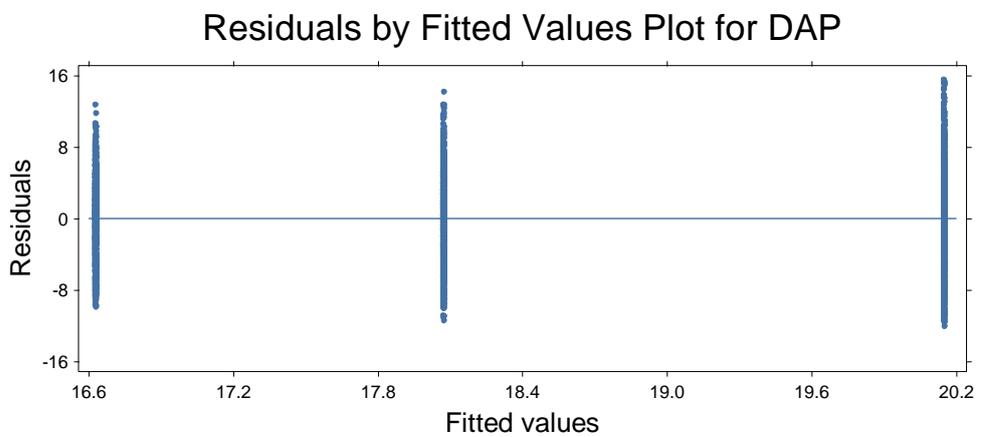


Figura A 15. Resultados de distribución de los errores para el diámetro a la altura del pecho en el origen Chivilingo en la zona Sureste.

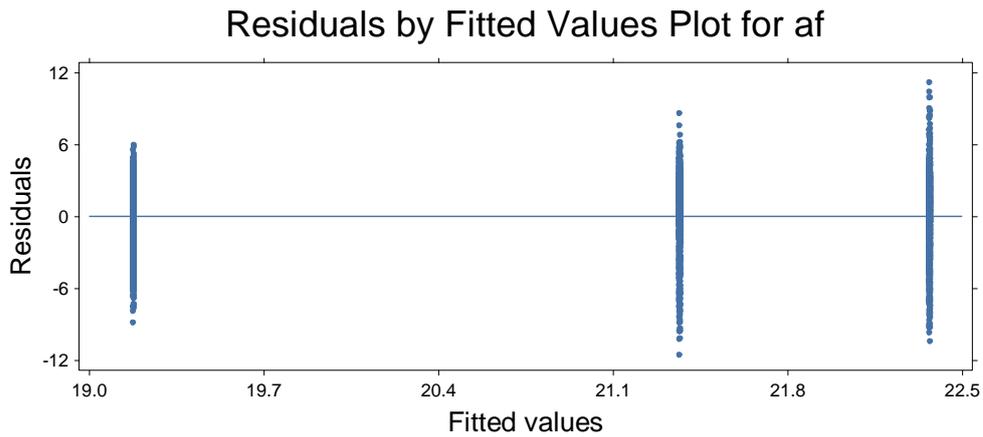


Figura A 16. Resultados de distribución de los errores para la altura del origen Chivilingo en la zona Sureste.

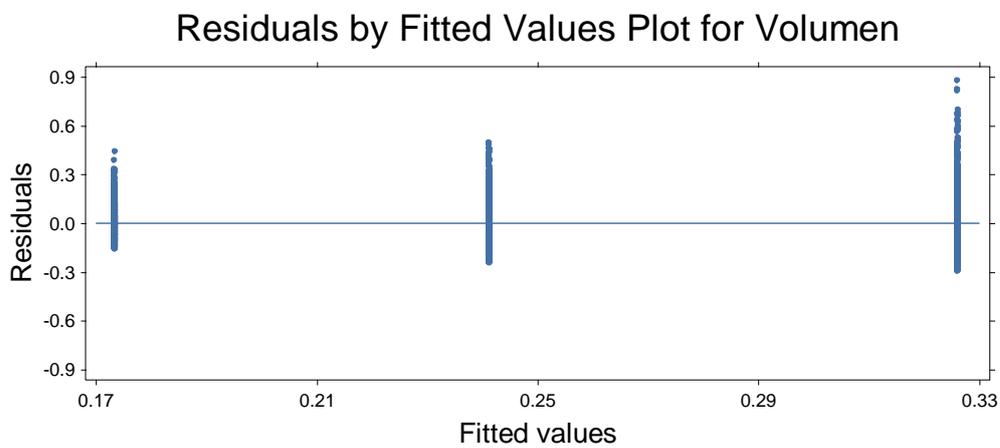


Figura A 17. Resultados de distribución de los errores para el volumen del origen Chivilingo en la zona Sureste.

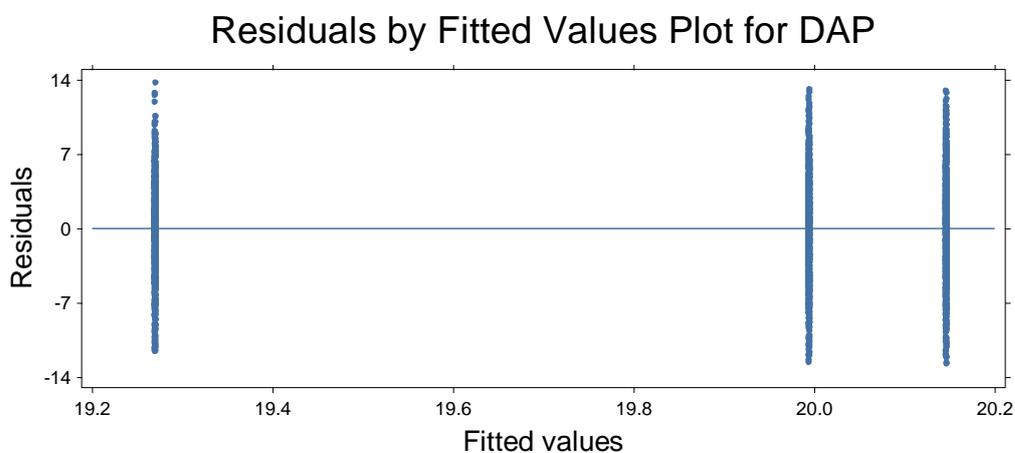


Figura A 18. Resultados de distribución de los errores para el diámetro a la altura del pecho en el origen Chivilingo en la zona Litoral.

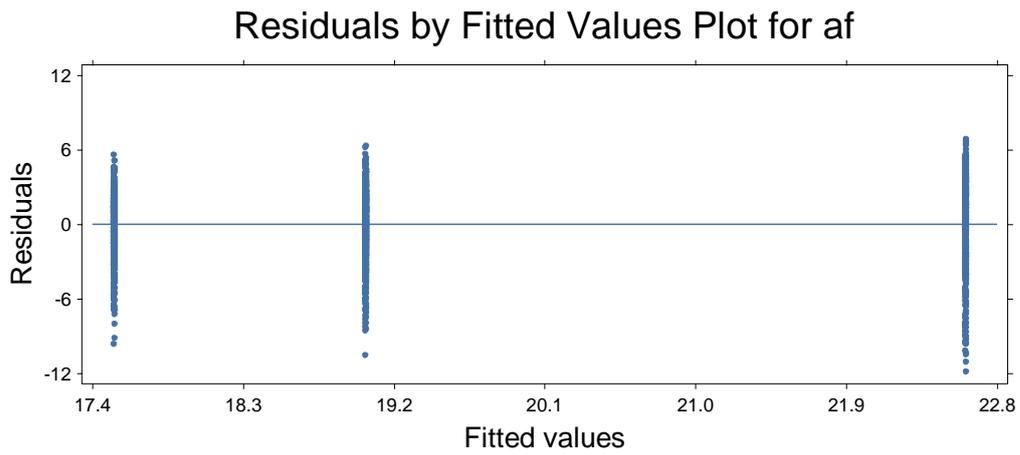


Figura A 19. Resultados de distribución de los errores para la altura del origen Chivilingo en la zona Litoral.

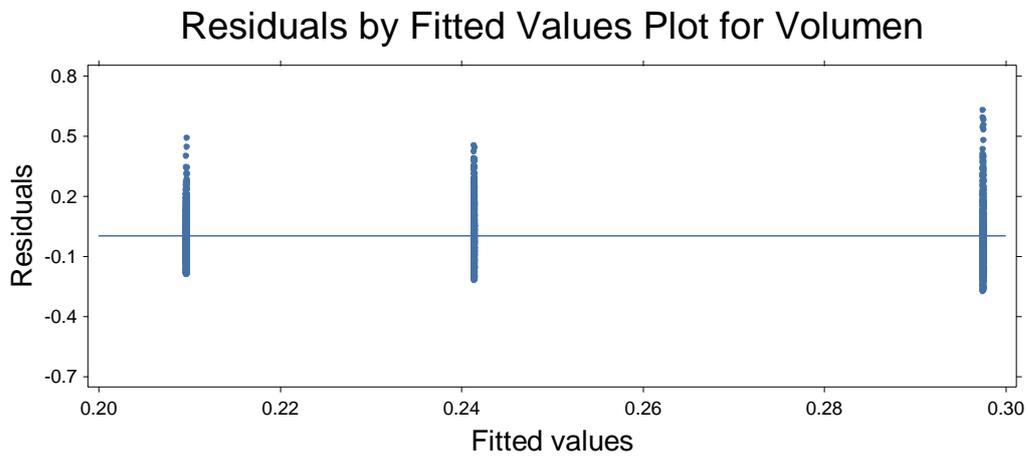


Figura A 20. Resultados de distribución de los errores para el volumen del origen Chivilingo en la zona Litoral.

Tabla A 5. Resultados de los costos de las variables analizadas para el origen Jeeralang en la zona Litoral en edad 1, 2 y 3.

8,6					10,7				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja	Turnos	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5	1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15	1	2	15		-15
1	3	15		-15	1	3	15		-15
1	4	15		-15	1	4	15		-15
1	5	15		-15	1	5	15		-15
1	6	15		-15	1	6	15		-15
1	7	15		-15	1	7	15		-15
1	8	15		-15	1	8	15		-15
1	9	15	7797,6	7782,6	1	9	15		-15
2	1	188		-188	1	10	15		-15
2	2	15		-15	1	11	15	8823,6	8808,6
2	3	15		-15	2	1	188		-188
2	4	15		-15	2	2	15		-15
2	5	15		-15	2	3	15		-15
2	6	15		-15	2	4	15		-15
2	7	15		-15	2	5	15		-15
2	8	15		-15	2	6	15		-15
2	9	15	5458,32	5443,32	2	7	15		-15
3	1	188		188	2	8	15		-15
3	2	15		-15	2	9	15		-15
3	3	15		-15	2	10	15		-15
3	4	15		-15	2	11	15	6176,52	6161,52
3	5	15		-15	3	1	188		-188
3	6	15		-15	3	2	15		-15
3	7	15		-15	3	3	15		-15
3	8	15		-15	3	4	15		-15
3	9	15	5458,32	5443,32	3	5	15		-15
<b>Flujo caja</b>				21360,3	3	6	15		-15
<b>VPN (7%)</b>				5087	3	7	15		-15
<b>TIR</b>				23%	3	8	15		-15
<b>NPV</b>				771	3	9	15		-15
				4,8	3	10	15		-15
<b>VES</b>				160	3	11	15	6176,52	6161,52
					<b>Flujo de caja</b>				18799,14
					<b>VPN (7%)</b>				4508
					<b>TIR</b>				19%
					<b>NPV</b>				442
									7,72
					<b>VES</b>				57

13				
Turnos	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15
1	3	15		-15
1	4	15		-15
1	5	15		-15
1	6	15		-15
1	7	15		-15
1	8	15		-15
1	9	15		-15
1	10	15		-15
1	11	15		-15
1	12	15		-15
1	13	15	10738,8	10723,8
2	1	188		-188
2	2	15		-15
2	3	15		-15
2	4	15		-15
2	5	15		-15
2	6	15		-15
2	7	15		-15
2	8	15		-15
2	9	15		-15
2	10	15		-15
2	11	15		-15
2	12	15		-15
2	13	15	7517,16	7502,16
3	1	188		-188
3	2	15		-15
3	3	15		-15
3	4	15		-15
3	5	15		-15
3	6	15		-15
3	7	15		-15
3	8	15		-15
3	9	15		-15
3	10	15		-15
3	11	15		-15
3	12	15		-15
3	13	15	7517,16	7502,16
<b>Flujo de caja</b>				23305,62
<b>VPN (7%)</b>				4558
<b>TIR</b>				18%
<b>NPV</b>				59614
<b>VES</b>				12,08
				4935

Tabla A 6. Resultados de los costos de las variables analizadas para el origen Jeeralang en la zona Sureste en edad 1 y 2.

7,6					9.8				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja	Turno	Años	Costos	ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5	1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15	1	2	15		-15
1	3	15		-15	1	3	15		-15
1	4	15		-15	1	4	15		-15
1	5	15		-15	1	5	15		-15
1	6	15		-15	1	6	15		-15
1	7	15		-15	1	7	15		-15
1	8	15	6498	6483	1	8	15		-15
2	1	188		-188	1	9	15		-15
2	2	15		-15	1	10	15	9986,4	9971,4
2	3	15		-15	2	1	188		-188
2	4	15		-15	2	2	15		-15
2	5	15		-15	2	3	15		-15
2	6	15		-15	2	4	15		-15
2	7	15		-15	2	5	15		-15
2	8	15	4548,6	4533,6	2	6	15		-15
3	1	188		-188	2	7	15		-15
3	2	15		-15	2	8	15		-15
3	3	15		-15	2	9	15		-15
3	4	15		-15	2	10	15	6990,4	6975,4
3	5	15		-15	3	1	188		-188
3	6	15		-15	3	2	15		-15
3	7	15		-15	3	3	15		-15
3	8	15	4548,6	4533,6	3	4	15		-15
<b>Flujo caja</b>				21360,3	3	5	15		-15
<b>VPN (7%)</b>				4462,5	3	6	15		-15
<b>TIR</b>				24%	3	7	15		-15
<b>NPV</b>				21155	3	8	15		-15
				3,74	3	9	15		-15
<b>VES</b>				5656	3	10	15	6990,4	6975,4
					<b>Flujo caja</b>				21634,8
					<b>VPN (7%)</b>				6055,3
					<b>TIR</b>				23%
					<b>NPV</b>				64650
									9,68
					<b>VES</b>				6681

Tabla A 7. Resultados de los costos de las variables analizadas para el origen Chivilingo en la zona Litoral en edad 1, 2 y 3.

6,9					9,1				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja	Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5	1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15	1	2	15		-15
1	3	15		-15	1	3	15		-15
1	4	15		-15	1	4	15		-15
1	5	15		-15	1	5	15		-15
1	6	15		-15	1	6	15		-15
1	7	15	4753,8	4738,8	1	7	15		-15
2	1	188		-188	1	8	15		-15
2	2	15		-15	1	9	15		-15
2	3	15		-15	1	10	15	5061,6	5046,6
2	4	15		-15	2	1	188		-188
2	5	15		-15	2	2	15		-15
2	6	15		-15	2	3	15		-15
2	7	15	3327,66	3312,66	2	4	15		-15
3	1	188		-188	2	5	15		-15
3	2	15		-15	2	6	15		-15
3	3	15		-15	2	7	15		-15
3	4	15		-15	2	8	15		-15
3	5	15		-15	2	9	15		-15
3	6	15		-15	2	10	15	3543,12	3528,12
3	7	15	3327,66	3312,66	3	1	188		-188
<b>Flujo caja</b>				9211,62	3	2	15		-15
<b>VPN (7%)</b>				3293	3	3	15		-15
<b>TIR</b>				24%	3	4	15		-15
<b>NPV</b>				12742	3	5	15		-15
				2,87	3	6	15		-15
<b>VES</b>				4440	3	7	15		-15
					3	8	15		-15
					3	9	15		-15
					3	10	15	3543,12	3528,12
					<b>Flujo caja</b>				9815,34
					<b>VPN (7%)</b>				2208
					<b>TIR</b>				15%
					<b>NPV</b>				23574
									9,68
					<b>VES</b>				2436

11,4				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15
1	3	15		-15
1	4	15		-15
1	5	15		-15
1	6	15		-15
1	7	15		-15
1	8	15		-15
1	9	15		-15
1	10	15		-15
1	11	15		-15
1	12	15	5643	5628
2	1	188		-188
2	2	15		-15
2	3	15		-15
2	4	15		-15
2	5	15		-15
2	6	15		-15
2	7	15		-15
2	8	15		-15
2	9	15		-15
2	10	15		-15
2	11	15		-15
2	12	15	3950,1	3935,1
3	1	188		-188
3	2	15		-15
3	3	15		-15
3	4	15		-15
3	5	15		-15
3	6	15		-15
3	7	15		-15
3	8	15		-15
3	9	15		-15
3	10	15		-15
3	11	15		-15
3	12	15	3950,1	3935,1
<b>Flujo caja</b>				11120,7
<b>VPN (7%)</b>				1895
<b>TIR</b>				13%
<b>NPV</b>				20231
				9,68
<b>VES</b>				2091

Tabla A 8. Resultados de los costos económicos de las variables analizadas para el origen Chivilingo en la zona Sureste en edad 1, 2 y 3.

6,6					8,7				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja	Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5	1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15	1	2	15		-15
1	3	15		-15	1	3	15		-15
1	4	15		-15	1	4	15		-15
1	5	15		-15	1	5	15		-15
1	6	15		-15	1	6	15		-15
1	7	15	6190,2	6175,2	1	7	15		-15
2	1	188		-188	1	8	15		-15
2	2	15		-15	1	9	15	8686,8	8671,8
2	3	15		-15	2	1	188		-188
2	4	15		-15	2	2	15		-15
2	5	15		-15	2	3	15		-15
2	6	15		-15	2	4	15		-15
2	7	15	4333,14	4318,14	2	5	15		-15
3	1	188		-188	2	6	15		-15
3	2	15		-15	2	7	15		-15
3	3	15		-15	2	8	15		-15
3	4	15		-15	2	9	15	6080,76	6065,76
3	5	15		-15	3	1	188		-188
3	6	15		-15	3	2	15		-15
3	7	15	4333,14	4318,14	3	3	15		-15
<b>Flujo caja</b>				12659	3	4	15		-15
<b>VPN (7%)</b>				4820	3	5	15		-15
<b>TIR</b>				28%	3	6	15		-15
<b>NPV</b>				18652	3	7	15		-15
				2,87	3	8	15		-15
<b>VES</b>				6500	3	9	15	6080,76	6065,76
					<b>Flujo caja</b>				18560,82
					<b>VPN (7%)</b>				5751
					<b>TIR</b>				25%
					<b>NPV</b>				33399
									4,8
					<b>VES</b>				6947

11,1				
Turno	Años	Costos	Ingresos	Caja
1	1	1551,5		-1551,5
1	2	15		-15
1	3	15		-15
1	4	15		-15
1	5	15		-15
1	6	15		-15
1	7	15		-15
1	8	15		-15
1	9	15		-15
1	10	15		-15
1	11	15		-15
1	12	15	11799	11784
2	1	188		-188
2	2	15		-15
2	3	15		-15
2	4	15		-15
2	5	15		-15
2	6	15		-15
2	7	15		-15
2	8	15		-15
2	9	15		-15
2	10	15		-15
2	11	15		-15
2	12	15	8259,3	8244,3
3	1	188		-188
3	2	15		-15
3	3	15		-15
3	4	15		-15
3	5	15		-15
3	6	15		-15
3	7	15		-15
3	8	15		-15
3	9	15		-15
3	10	15		-15
3	11	15		-15
3	12	15	8259,3	8244,3
<b>Flujo caja</b>				25895,1
<b>VPN (7%)</b>				5855
<b>TIR</b>				20%
<b>NPV</b>				62511
				9,7
<b>VES</b>				6460,07