

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Silvicultura

EVIDENCIAS DE INJERTO DE RAICES EN UN RODAL DE PINO OREGON

(Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco).



Por

MARCO ANTONIO RUBILAR GONZALEZ.

MEMORIA PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO  
FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1998

EVIDENCIAS DE INJERTO DE RAICES EN UN RODAL DE PINO OREGON

(Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco).

Profesor Asesor

Eduardo Peña Fernández.  
Profesor Asistente.  
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Profesor Asesor

Jaime García Sandoval.  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal.

Director Departamento  
Silvicultura

Eduardo Peña Fernández.  
Profesor Asistente.  
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Decano Facultad de  
Ciencias Forestales

Jaime García Sandoval.  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título

Sr. Eduardo Peña Fernández: Ochenta y seis puntos

Sr. Jaime García Sandoval : Setenta y tres puntos

## INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCION.....	1
II	MATERIALES Y METODO.....	5
	2.1 Descripción del área de estudio.....	5
	2.2 Descripción del rodal en estudio.....	6
	2.3 Método.....	7
	2.3.1 Unidad muestral y tamaño de muestra.....	7
	2.3.2 Variables a medir.....	7
	2.3.3 Análisis de los datos.....	8
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	12
	3.1 Ocurrencia natural de injertos de raíz...	12
	3.1.1 Ocurrencia.....	12
	3.1.2 Distribución de probabilidad.....	13
	3.1.3 Distancia.....	16
	3.1.4 Tipo de callo.....	18
	3.2 Tocón vivo.....	20
	3.3 Diámetro tocón.....	23
IV	CONCLUSIONES.....	25
V	RESUMEN.....	27
VII	SUMMARY.....	28
IX	BIBLIOGRAFIA.....	29
	7.1 Bibliografía citada.....	29
X	APENDICE.....	31
XI	ANEXO.....	35
	9.1 Formación del injerto natural de raíces..	36
	9.2 Formas de injertos.....	36

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Número de árboles y tocones encontrados en las 36 parcelas muestreadas.....	12
2. Resultado del cálculo de la estadística chi-cuadrado( $x^2$ ), para el experimento.....	14
3. Frecuencia observada de tocones por clase de distancia.....	17
4. Resultado de la clasificación de los tocones según tipo de callo.....	18
5. Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para los tocones vivos (y) con respecto a árboles vivos y tocones muertos.....	20
6. Resultado del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable tocones vivos (y) y árboles vivos.....	21

En el Apéndice

- 1A. Resultados del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable dependiente tocones vivos (y) y los tocones muertos..... 32
- 2A. Resultados del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable dependiente Diámetro de tocón (Dt) y el Dap del árbol donante..... 34



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1.	Imagen del rodal de Pino oregón. a) Vista panorámica de la masa boscosa, b) Vista del rodal manejado bajo dosel.....	6
2.	Proporción de los árboles injertados a tocones vivos ( $P_2$ ), focos potenciales de infección sobre un total de 174 árboles.....	13
3.	Gráfica de la distribución de probabilidad de Poisson, con $\mu = 0,86$ , para este experimento.....	16
4.	Distancia de cada tocón a su árbol donante, para los 31 tocones vivos encontrados en el estudio.....	16
5.	Proporción de la frecuencia encontrada en cada intervalo de distancia, de los injertos entre árboles y tocones.....	17

6. Curva ajustada para el número de tocones vivos en función de los árboles vivos  
 (  $y = 0,052\ 134\ 743 + 0,012\ 259\ 684 * x_1^{2,5}$  )..... 22

En el Apéndice

- 1A. Gráfica de la dispersión de la nube de puntos para los tocones vivos versus los muertos..... 32
- 2A. Gráfica del modelo ajustado para los tocones vivos en función de los muertos..... 33
- 3A. Gráfica de dispersión de los pares de datos (Diámetro de tocón y Dap del árbol donante)..... 33
- 4A. Gráfica del modelo ajustado para el diámetro de tocón en función del Dap del árbol donante..... 34

## I. INTRODUCCION.

Los árboles individuales de un rodal no funcionan necesariamente como entidades separadas, debido al injerto natural que unen los sistemas radiculares de varios árboles para formar una unidad o comunidad esencialmente funcional (Daniel et al., 1982). Por tal razón, en muchos rodales naturales o plantados a alta densidad, sometidos a raleos, se han encontrado tocones que permanecen vivos e incluso crecen en diámetro (Lanner, 1961), tales evidencias o fenómenos son producto de injerto de raíz entre los árboles (Bormann y Graham, 1957, citado por Lanner, 1961).

Existen varios factores que favorecen la ocurrencia de injertos, tales como: el espaciamiento y tipo de suelo (Eis, 1972), edad, pureza y densidad del rodal (Graham y Bormann, 1966), tamaño de los árboles (Yli-Vakkuri, 1953 citado por Gordon y Roth, 1976), y la concentración y desarrollo de las raíces, las cuales pueden alcanzar una gran distancia (Eis, 1972; Daniel et al., 1982; Spurr y Barnes, 1982).

El injerto de raíz es la unión morfológica del cambium, floema y xilema de dos o más raíces, permitiendo el intercambio de sustancias como agua, minerales, nutrientes, sustancias de crecimientos, entre otros (Lanner, 1961; Graham y Bormann, 1966; Wood y Barchelard, 1970; Eis, 1972; Stone y Stone, 1975; Hansen y Dickson, 1976; Daniel et al., 1982; Spurr y Barnes, 1982; Menges y Kuntz, 1985; Klepzig et al., 1991).

Existen tres tipos de injerto de raíces: a) Autoinjerto, entre las raíces del mismo árbol, b) Injerto interespecífico, entre árboles de diferentes especies, y c) Injertos intraespecíficos, entre diferentes árboles de la misma especie. Este tipo de interconexiones es muy común y se tiene informes de su existencia en muchos tipos de bosques, dentro de los que se cuentan por lo menos 150 especies coníferas y latifoliadas, entre las cuales se encuentra Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, Pinus contorta y Abies grandis, observadas por primera vez por Perberton (1920), citado por Graham y Bormann (1966).

La proporción de tocones vivos es variable, por ejemplo Eis (1972), en su estudio sobre Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, Tsuga heterophylla (Raf.) Sarg. y Thuja plicata Dornn., encontró que el 45% de los tocones tenían injertos radiculares y que la mitad de éstos aún poseía crecimiento activo 22 años después de la tala. En el Pino radiata se reportó que el fenómeno se presenta desde los 10 años de edad, aumentando la intensidad de injertación hasta los 25 años (Wood y Bachelard, 1970). Por otro lado, Lanner (1961), examinó 25 tocones vivos en el Oeste de Sierra Nevada, después de una tala de árboles, en rodales con edades de 35 años para Abeto Blanco y de 200 años en Pino Oregón; encontró un tocón que permaneció por más de 87 años, menciona además, que Newin (1916), observó un tocón viviente de 200 años de edad.

El sostenimiento de la vida de tocones viejos por medio de los injertos de raíces debe constituir una fuga

considerable de la capacidad de crecimiento del árbol nodriza, y un efecto sobre el desarrollo del rodal (Graham y Bormann, 1966; Stone, 1974 citado por Spurr y Barnes, 1982; Daniel et al., 1982).

Podemos agregar que la importancia silvícola del injerto natural de raíces es difícil de determinar con facilidad, porque depende de la cantidad de sistemas radiculares injertados y de la proporción de carbohidratos que puede ceder, potencialmente, un árbol a otro. Aunque está claramente establecido que se produciría una disminución en el crecimiento (Eis, 1972).

Una de las características que está claramente establecida es que la existencia de injerto natural de raíces significa que los árboles pueden funcionar como una sola unidad fisiológica en respuesta al ambiente; al reaccionar en forma conjunta pueden protegerse de los efectos del viento o en el caso de sequías puede haber mortalidad por grupos de árboles injertados (Graham y Bormann, 1966; Eis, 1972; Stone y col., 1973 citado por Daniel et al., 1982).

Su efecto puede ser negativo, al transmitir enfermedades como lo constata Eis (1972). Dicho autor encontró que un 30% de los árboles injertados fueron infectados con el micelio Polyporus schweinitzii a través de tocones, ya que estos son focos potenciales de infección. Por ello se han hecho estudios para aplicar medidas de control químico o mecánico (Daniel et al., 1982).

El injerto de raíces es un fenómeno muy complejo, el cual ha sido ampliamente estudiado, por distintos autores en el extranjero. Sin embargo en Chile no se ha reportado o hay escasa referencia a este fenómeno, razón por la cual se desarrolló este estudio para determinar la ocurrencia de injerto de raíces en Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, estableciéndose los siguientes objetivos:

Evaluar la evidencia de injerto intraespecífico de raíces en una plantación de Pino Oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco), de 24 años. Junto con esto, encontrar elementos que permitan estimar cuantitativamente el fenómeno de injerto intraespecífico de raíces, a través de la ocurrencia de tocones vivos y sus características en un rodal de Pino Oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco). Además, relacionar la supervivencia de los tocones, con posibles variables explicatorias tales como diámetro de tocón, Dap del árbol más cercano, distancia al árbol nodriza, densidad del rodal y número de tocones muertos.

## **II. MATERIALES Y METODO.**

### **2.1 Descripción del área de estudio.**

La información utilizada en el estudio proviene de los datos recopilados en abril de 1997, en un rodal puro de Pino Oregón raleado y podado que se encuentra en el Fundo Miraflores, de propiedad de la empresa Forestal Fortex Chile S.A., el cual se encuentra ubicado, en el cruce Chaimavida, a 17 km al Este de la ciudad de Concepción, Provincia de Concepción, VIII Región; por la ruta a Cabrero.

El fundo tiene una superficie de 52,8 ha, de las cuales 36,9 ha están cubiertas de Eucalipto, 3,0 ha con Pino Oregón y el resto esta ocupada por árboles frutales, vegas y casas. Las plantaciones están establecidas en un suelo que pertenece a la serie San Esteban, derivado de rocas graníticas, el cual tiene susceptibilidad a la erosión severa en algunos sectores y presentándose en una fase delgada a moderadamente profunda. La topografía es abrupta y la pendiente varía desde 3 a 100%.

El predio se ubica en una zona de clima templado cálido, correspondiente a la Cordillera de la Costa con amplitud térmica moderada y con una humedad relativa media anual de 81,11% (Geofísica, 1982).

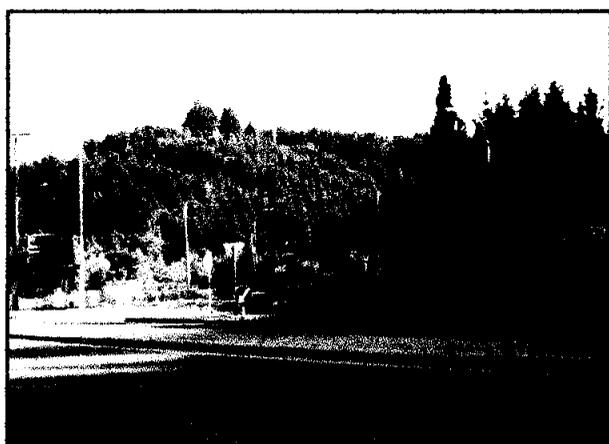
La precipitación media anual es de 1252,4 mm.; la temperatura media anual corresponde a unos 12,04 °C, con

una temperatura media máxima y mínima anual de 17,82°C y 6,86°C, respectivamente (Geofísica, 1982).

## 2.2 Descripción del rodal en estudio .

El rodal en estudio, fue establecido en 1973, teniendo a la fecha 24 años. Esta masa boscosa se encuentra principalmente en dos exposiciones Norte y Oeste.

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa Forestal Fortex Chile S.A., el rodal se ha intervenido con una poda de levante en Mayo del año 1994, y un raleo de 1,2 ha de superficie en Enero-Febrero del año 1995. En el año siguiente, se aplicó el mismo tratamiento a la superficie restante, dejando un total aproximado de 460 árboles/ha. La empresa propietaria no dispone de las especificaciones técnicas de los tratamientos silvícolas aplicados (figura 1).



a



b

Figura 1. Imagen del rodal de Pino oregón. a) Vista panorámica de la masa boscosa, b) Vista del rodal manejado bajo dosel.

### **2.3 Método.**

Para el ensayo se utilizó el sector que fue raleado en 1995, raleo más antiguo, para tener la seguridad de que la presencia de tocones vivos se debe al efecto de los injertos de raíces. Ya que según Graham y Bormann (1966), los tocones, sin yemas y follaje, no permanecen vivos por más de un año, a menos que se injerten a un vecino vivo.

La recolección de datos se hizo a través de un muestreo aleatorio simple.

**2.3.1 Unidad muestral y tamaño de muestra.** Para evidenciar el fenómeno se realizó un muestreo con una intensidad del 30%, sobre la superficie en estudio, utilizando unidades muestrales circulares de 100 m<sup>2</sup> de superficie, se obtuvo una muestra de treinta y seis parcelas, en las cuales se examinó la existencia del injerto natural de raíces. Se consideró que existía injerto por la presencia de tocones vivos o con formación de un callo (Wood y Bachelard, 1970).

**2.3.2 Variables a medir.** Las variables que se midieron en este estudio fueron:

- Dap árbol nodriza.
- Diámetro tocón vivo.
- Distancia del tocón vivo al árbol nodriza.
- Número de árboles vivos.
- Número de tocones muertos.
- Número de tocones vivos.
- Tipo de callo.

Los tocones vivos se clasificaron en tres tipos: 1) Ausencia de callo, 2) Callosidad parcial y 3) Callosidad perimetral. En este estudio no se consideró cicatrización total porque en dos años no es tiempo suficiente para que se presente la condición indicada. Se considera que los tipos 2 y 3 (presencia de callo) son tocones que tienen mayor probabilidad de permanecer vivos por tener, posiblemente, mayor área injertada o mayor número de injertos.

Para determinar si un tocón está vivo ó muerto, se observó la presencia de tejido calloso en la sección expuesta del tocón. Si hubo presencia de callo se clasificó en alguna de las categorías descritas anteriormente. En caso contrario, cuando no hay evidencia de callosidad, para verificar si estaba vivo se realizó una incisión en la corteza. Los tocones vivos presentan una corteza lustrosa con tejido verde y muestran evidencia de fluido de savia o resina en la incisión realizada en la corteza (Lanner, 1961).

**2.3.3 Análisis de datos.** Se realizó un análisis de los datos muestreados en terreno, a través de las siguientes proporciones: Total de tocones vivos versus Total de tocones en el rodal, y Total de árboles injertados versus Total de árboles en el rodal. Esto es:

$$P_1 = \frac{TTV}{TT} \quad ; \quad P_2 = \frac{TAI}{TA}$$

Con:  $P_1$  : Proporción de Tocones Vivos sobre el total.  
 TTV: Total de Tocones Vivos.  
 TT : Total de Tocones.  
 $P_2$  : Proporción de Árboles Injertados sobre el total.  
 TAI: Total de Árboles Injertados.  
 TA : Total de Árboles.

Se determinó la probabilidad de ocurrencia de tocón, para lo cual se construyó el modelo de probabilidad, utilizando la función general de distribución de probabilidad Poisson (Lipschuty, 1992; Meyer, 1992; Valenzuela et al., 1992):

$$P_x(x) = \frac{\mu^x * e^{-\mu}}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots$$

Con,  $\mu$ : Media de la variable aleatoria de Poisson.  
 e: Constante exponencial.

Este experimento cumplió con todos los requisitos exigidos por el modelo. Lo que fue contrastado o verificado utilizando el test de bondad de ajuste Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) (Lipschuty, 1992; Meyer, 1992; Valenzuela et al., 1992; Canavos, 1993).

Se analizó la dispersión de los tocones con respecto a los árboles injertados, tomando en cuenta el rango de distancia (considerando mínima y máxima), distancia promedio e intervalos cada 0,50 metros. Por otro lado, se estudió la supervivencia de los tocones a través de las características del callo (tipos de callo).

Posteriormente mediante una regresión lineal múltiple se relacionó los tocones vivos con las variables árboles vivos y tocones muertos. Para tal efecto se ocupó el siguiente modelo:

$$Y = f ( x_1 x_2 ) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y = a + b * x_1 + c * x_2 ;$$

con; Y : Número de Tocones vivos por parcela.

X<sub>1</sub> : Número de Árboles vivos por parcela.

X<sub>2</sub> : Número de Tocones muertos por parcela.

Al modelo propuesto, se le aplicó una prueba **F**, considerando el valor del coeficiente de determinación **r<sup>2</sup>** y el error estándar estimado (EEE), para ser aceptado.

La identificación de las variables independientes que resultaron ser significativas en la regresión lineal múltiple, fueron discriminadas por una prueba **t**(Student), aplicada a cada coeficiente de la variable independiente considerada. Los niveles de significancia considerados para estas pruebas fueron de un 1%.

Posteriormente se buscó la mejor función matemática que relacione las variables medidas, y estudiadas anteriormente, en el sentido que represente lo mejor posible al conjunto de puntos observados. La elección del mejor modelo ajustado, se realizó considerando el criterio de Mejor Aproximación de mínimos cuadrados del error y su estadística asociada (Figuroa, 1988). Las funciones que se

ajustaron fueron modelos simples que cumplieron con el siguiente requisito:

$$Y = f(x_1) ; Y = f(x_2)$$

Por último y considerando el mismo criterio de decisión anterior, se analizó la relación entre el diámetro del tocón vivo ( $D_t$ ) en función al  $D_{ap}$  del árbol donante ( $D_{ap}$ ).

$$D_t = f(D_{ap}).$$



### III. RESULTADOS Y DISCUSION.

#### 3.1 Ocurrencia natural de injertos de raíz.

En las 36 parcelas estudiadas se encontró que la ocurrencia de tocones vivos va desde ninguno hasta un máximo de 5 unidades por parcela, sumando un total de 31 tocones vivos. La densidad de tocones vivos por hectárea, según el muestreo, corresponde a 86 unidades. Si el raleo deja una densidad final de 460 árboles/ha y suponiendo que cada tocón este asociado a un árbol vivo, en este caso significaría que al menos el 19% de los árboles remanentes tiene injerto de raíces.

**3.1.1 Ocurrencia.** A continuación son presentadas las evidencias de injertos de raíces que fueron constatados, por la presencia de tocones vivos (tabla 1). Estos tocones producirían una disminución del crecimiento de los árboles a los cuales están injertados y facilitan la transmisión de enfermedades hacia los árboles, produciendo una disminución de la calidad de los individuos, ya que éstos son focos potenciales de infección (Eis, 1972).

TABLA 1. Número de árboles y tocones encontrados en las 36 parcelas muestreadas.

Tocones	N°	%	Arboles	N°	%
Vivos	31	5,4	Injertados	31	17,8
Muertos	540	94,6	Sin injerto	143	82,2
Total	571	100	Total	174	100

En la muestra se observaron 31 tocones vivos, que alcanzan a un 5,4%(P<sub>1</sub>) sobre un total de 571 tocones, posiblemente asociados(injertados) a 31 árboles potencialmente utilizables(tabla 1). Estos árboles representan un 17,8% (P<sub>2</sub>) sobre un total de 174 árboles(figura 2), lo cual es muy significativo; ya que según Lanner (1961), siempre habrá más injertos de raíz en un rodal que números de tocones vivos.

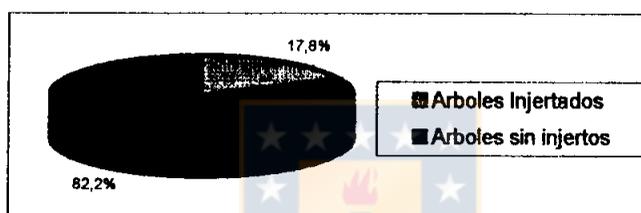


Figura 2. Proporción de los árboles injertados a tocones vivos(P<sub>2</sub>), focos potenciales de infección sobre un total de 174 árboles.

**3.1.2 Distribución de Probabilidad.** Se construyó la función de Probabilidad Poisson para el experimento con las siguientes características:

Dado que el valor del parámetro de Poisson  $\mu$  no se conoce, el estimado de máxima verosimilitud de  $\mu$  con base en la información que se proporcionó desde la muestra(parcelas) es:

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{36} \right) = 0,86$$

x: N° de tocones vivos en 100 m<sup>2</sup>,

^

$\mu$  : Promedio de tocones vivos por parcela.

Con este valor, se estimó las probabilidades teóricas  $p_i$  (tabla 2), ocupando la siguiente función de probabilidad Poisson:

$$p_i = \frac{e^{-0,86} * 0,86^{xx}}{xx!}, \text{ con } xx = 0, 1, 2, 3, 4, 5.$$

TABLA 2. Resultado del cálculo de la estadística chi-cuadrado ( $\chi^2$ ), para el experimento.

$A_i$	$n_i$	$pm_i$ ..a)	$p_i$ ..b)	$n * p_i$	$(n_i - n * p_i)^2 / n * p_i$
0	18	0,50	0,423	15,23	0,5038
1	10	0,28	0,364	13,10	0,7336
2	5	0,14	0,156	5,62	0,0684
3-4-5	3	0,08	0,057	2,05	0,4402
Total	36	1,00	1,000	36	1,746

a)  $pm_i$ : Probabilidad encontrada en la muestra. b)  $p_i$ : Probabilidad teórica, obtenida con la función de Poisson.

De la tabla 2, columna 6 obtenemos  $\chi^2 = 1,75$ .

Para  $k=4$  categorías, con un parámetro estimado, el número de grados de libertad es 2. Para  $\alpha=0,05$  el valor crítico es  $\chi^2_{0,95;2} = 5,99$ . Dado que  $\chi^2 = 1,75 < \chi^2_{0,95;2}$ , se acepta la hipótesis nula donde el n° de tocones sigue una distribución Poisson con  $\mu=0,86$ .

Al comparar las probabilidades de la muestra y la teoría, se encontró que esta última fue superior, sólo en las categorías de encontrar 1 ó 2 tocones vivos.

Además, de la columna 4 (probabilidad teórica) se puede establecer que:

a) La probabilidad de no encontrar ningún tocón vivo es de un 42,3%.

b) La ocurrencia de un tocón vivo tiene una probabilidad de 36,4%.

c) Para el caso de 2 tocones vivos la probabilidad es de 15,6%.

d) Por otro lado la probabilidad de encontrar entre 3-4-5 tocones vivos es de 5,7%. En suma la probabilidad de encontrar entre 1 y 5 tocones vivos es de un 57,7%.

La función de probabilidad Poisson, con  $\mu = 0,86$ , encontrada para el experimento, se puede observar gráficamente en la figura 3.

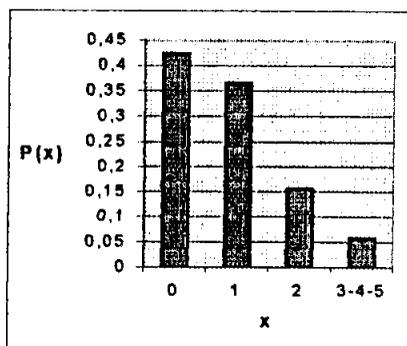


Figura 3. Gráfica de la distribución de probabilidad de Poisson, con  $\mu = 0,86$ , para este experimento.

**3.1.3 Distancia.** La distancia de los tocones vivos, con respecto al árbol más próximo, al cual está injertado, varía dentro de un intervalo que va desde 1,00 a los 3,03 metros (figura 4). Por otro lado se encontró que la distancia promedio es aproximadamente 1,53 metros.

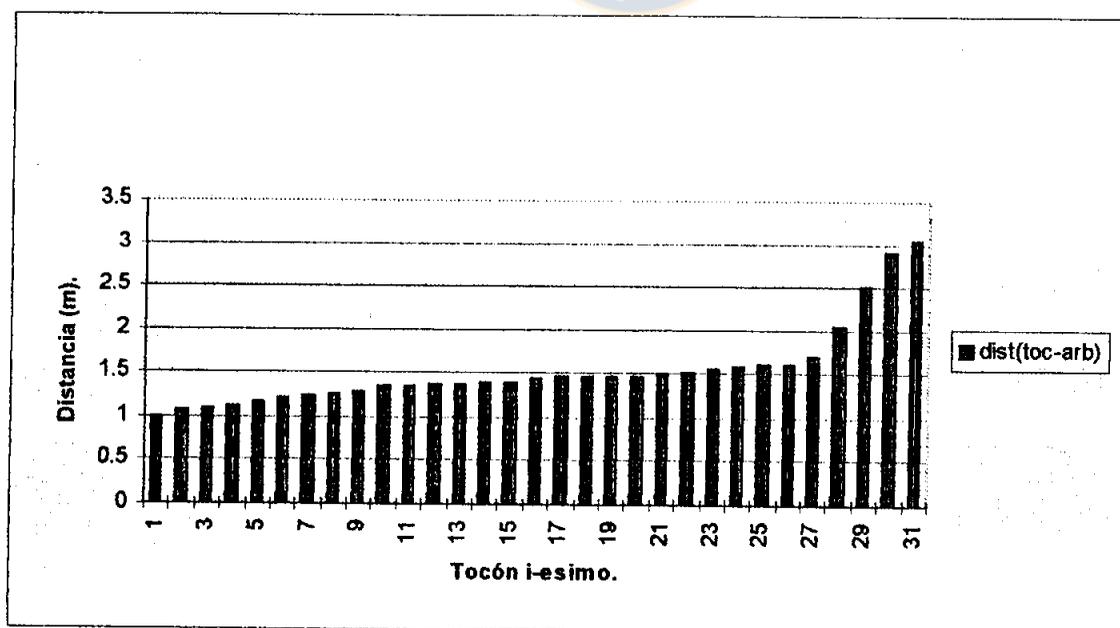


Figura 4. Distancia de cada tocón a su árbol donante, para los 31 tocones vivos encontrados en el estudio.

La frecuencia ( $f_i$ ) observada de tocones de acuerdo a intervalos de 0,50 metros, se presenta en la Tabla 3.

TABLA 3. Frecuencia observada de tocones por intervalo de distancia en metros.

Intervalo de Distancia (m).	$f_i$
1,00-1,50	21
1,50-2,00	6
2,00-2,50	1
2,50-3,00	3

De la tabla 3, se desprende que la mayor concentración de tocones vivos (68%), se producen entre 1,00 y 1,50 m, y la menor ocurrencia, entre los 2,00 y 2,50 metros (figura 5).

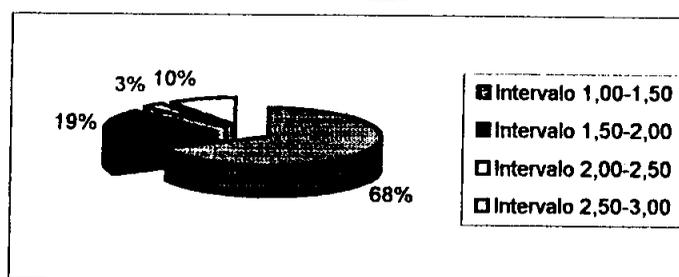


Figura 5. Proporción de la frecuencia encontrada en cada intervalo de distancia, para los tocones vivos y sus árboles donantes.

Al considerar los dos primeros intervalos de distancia (tabla 3 y figura 5), se observó que un 87% de los tocones vivientes ocurrieron en una distancia inferior a los 2 metros de sus árboles donantes, lo cual es comparable

con el 75% encontrado por Eis (1972), en su estudio de la misma especie.

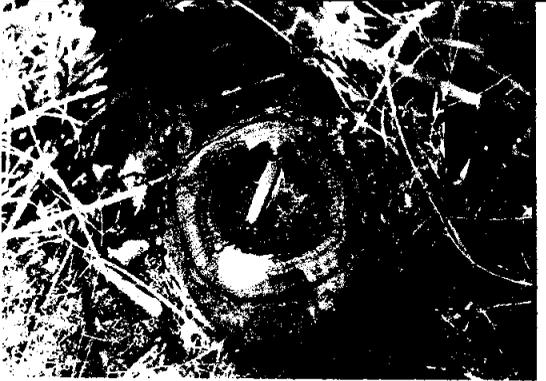
Considerando el factor anteriormente analizado, podemos decir que a distancias menores a 2 metros del árbol donante, la densidad de tocones vivos aumenta, es decir, un requisito para la ocurrencia es la distancia. Si se toma en cuenta el espaciamiento de los árboles remanentes después del raleo, dejando una distancia superior a los 3 metros, el número de injertos de raíces decrecerá, y con ello sus posibles implicancias.

Si se toma en cuenta el espaciamiento de plantación podría disminuirse o aumentarse la ocurrencia de injertos natural de raíces.

**3.1.4 Tipo de callo.** De los 31 tocones vivos encontrados, el 39% tiene ausencia de callo, mientras que un 35% presenta callosidad parcial y un 26% tiene callosidad perimetral (Tabla 4), según las categorías de clasificación descritas anteriormente. Esto significa que la mayor proporción (39%) de tocones tiene un menor grado y número de injerto de raíces.

De la tabla 4, se puede observar que a los tres años de vida ya existe un crecimiento de tejido calloso (tipo 2 y 3), representando el 61% del total tocones. Estos tocones podrían permanecer vivos por un largo tiempo, debido a sus buenas condiciones de injerto, callo parcial y perimetral.

TABLA 4. Resultado de la clasificación de los tocones según tipo de callo.

Tipo de callo	Imagen del callo	$f_i$	%
1		12	39
2		11	35
3		8	26
Total		31	100

**3.2 Tocón vivo.** Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionó los tocones vivos(y) con las variables árboles vivos(x1) y tocones muertos(x2), se presentan en la tabla 5.

TABLA 5. Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para los tocones vivos (y) con respecto a árboles vivos y tocones muertos.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para HO: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Y	Intercepto	-1.681892	0.35768853	-4.702 **	Obs=36 <sup>c)</sup> C.V. =70.21 <sup>d)</sup> F-Tests <sup>e)</sup> =52.147** r =0.8716 <sup>f)</sup> r <sup>2</sup> =0.7596 <sup>g)</sup> EEE = 0.58509 <sup>h)</sup>
	x <sub>1</sub> .....a)	0.438872	0.04550611	9.644 **	
	x <sub>2</sub> .....b)	0.026267	0.02100462	1.251 ns	

a) x<sub>1</sub>: Número de árboles vivos, b) x<sub>2</sub>: número de tocones muertos, c) Obs: Número de observaciones, d) C.V.: Coeficiente de variación del modelo (%), e) F-Tests: Valor F para el coeficiente de correlación, f) r: Coeficiente de correlación, g) r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, h) EEE.: Corresponde al Error estándar estimado.

Notas: \*: Significancia al 5%, \*\*: Significancia al 1%, ns: No significativo.

De la tabla 5, se obtuvo lo siguiente:

$$y = -1.681892 + 0.438872 * x_1 + 0.026267 * x_2.$$

Los tocones vivos(y) como variable dependiente, son explicados por el modelo, resultando significativo al 1%. De alguna forma el intercepto y los árboles vivos como parámetro predictivo resulto significativo al 1%, en tanto

que los tocones muertos no fue significativa a la estimación del fenómeno en ningún caso.

Posteriormente, se presenta el mejor modelo resultante del análisis de regresión de varios modelos simples que relacionaron al número de tocones vivos en función de los árboles vivos (tabla 6).

TABLA 6. Resultado del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable tocones vivos (y) y árboles vivos.

Mejor Función		Ajustada: $y = a + b * x_1^{2.5}$			
Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para HO: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión del modelo
y	Intercepto $x_1$ ..... <sup>a)</sup>	-0.05213474 0.01225968	0.10957379 0.00100034	-0.476 ** 12.2555 **	Obs=36 <sup>b)</sup> EEE = 0.49427 <sup>c)</sup> F-Tests <sup>d)</sup> =150.20** r =0.9030 <sup>e)</sup> r <sup>2</sup> =0.81541 <sup>f)</sup>

a)  $x_1$ : Número de árboles vivos, b) Obs: Número de observaciones, c) EEE.: Corresponde al Error estándar estimado, d) F-Tests: Valor F para el coeficiente de correlación, e) r: Coeficiente de correlación, f) r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Notas: \*: Significancia al 5%, \*\*: Significancia al 1%, ns: No significativo.

Por lo tanto, el modelo encontrado en la tabla 5, es:

$$y = -0.05213474 + 0.01225968 * x_1^{2.5} .$$

El modelo ajustado es significativo al 1%, además, el intercepto y los árboles como parámetro predictivo resultaron significativo al 1%. Es decir, el modelo permite

predecir el número de tocones vivos como variable dependiente, e incluso, es más preciso que el modelo lineal presentado anteriormente (tablas 4 y 5).

El resultado del ajuste de ecuaciones simples, entrega un modelo exponencial, e indica a medida que aumenta la densidad de los árboles, se incrementaría la de los tocones vivos por unidad de superficie (figura 6).

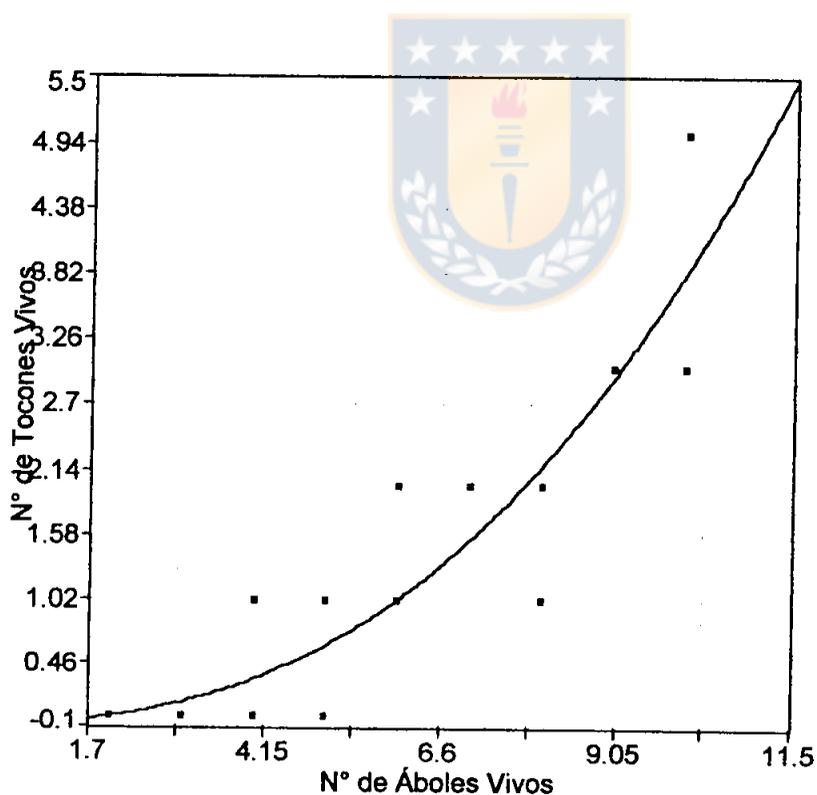


Figura 6. Curva ajustada para el número de tocones vivos en función de los árboles vivos (  $y = 0,052\ 134\ 743 + 0,012\ 259\ 684 * x_1^{2,5}$  ).

Por último, al relacionar los tocones vivos como variable dependiente en función de los muertos (figura 1a en el apéndice), se encontró que, el mejor modelo no era significativo en ningún caso, siendo incapaz de predecir la ocurrencia de tocones vivos (ver tabla 1a y figura 2a).

A primera vista, la densidad de los árboles favorece la ocurrencia de tocones vivos, pero existen otros factores de formación del fenómeno, cuyos efectos positivos o negativos deben investigarse y ser conocidos por el silvicultor al momento de manejar las especies cultivadas.

**3.3 Diámetro tocón.** Los resultados del análisis de regresión para varios modelos simples que relacionaron al diámetro de tocón en función al Dap del árbol donante (figura 3a del apéndice), mostraron que el mejor modelo encontrado no era significativo en ningún caso. Por lo tanto no existe relación para estas variables (tabla 2a y figura 4a del apéndice).

La explicación de la carencia de una correlación entre el diámetro de tocón y el Dap del árbol donante, se explica por las relaciones generales de crecimiento del árbol y uniones de tocón vivo encontradas y mencionadas de alguna forma por Eis (1972): En individuos que pertenecen a igual o diferente estrato social y que poseen injerto de raíz, pueden darse dos situaciones después de la tala de uno de ellos:

- a) Sí se corta el árbol nodriza, la dirección del flujo de sustancias cambia lo que permite mantener vivo al tocón.

- b) Sí se tala el árbol que recibe la sabia elaborada, el flujo de sustancias continua y el tocón permanece vivo.

Por lo tanto las características vivas del tocón, están determinadas por el grado de injertos, el número de injertos de raíz y la forma de los injertos (mayores referencias de las formas de injertos en anexo).

Para terminar con respecto a las características vivas del tocón, se puede decir que existen muchos factores que se interrelacionan entre sí y de difícil análisis, dando origen al tocón vivo en particular.

Dadas las evidencias encontradas, y considerando, la literatura revisada, sugiere un estudio más detallado de otros factores y sus efectos. Resolviendo éstas y otras interrogantes nos permitirán obtener un conocimiento más acabado sobre cultivo de las especies arbóreas.

#### IV. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en el estudio para la plantación de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, las siguientes conclusiones pueden ser establecidas.

- El estudio muestra evidencias de injerto intraespecífico de raíces, a través de la ocurrencia de tocones vivos. Estimándose unos 86 tocones vivos por hectárea. Si se asocia a igual número de árboles vivos, significaría que el 19% de los árboles remanentes tienen injerto de raíces.
- Se encontró que la proporción de tocones vivos sobre el total de tocones alcanza un 5,6% y la proporción de árboles injertados a tocones vivos sobre el total de árboles vivos fue de 17,8%, para la zona muestreada.
- Se observó que la distancia promedio entre el árbol donante y el tocón vivo fue de 1,53 metros, concentrándose en un 87%(27 tocones vivos) bajo los 2 metros. Sobre esta distancia la ocurrencia de injertos decrece.
- Transcurrido tres años después de la tala, ya es posible visualizar fácilmente la ocurrencia de tocones vivos por la presencia de tejido calloso(callosidad parcial(35%) y perimetral(26%)de los 31 tocones).
- Por otro lado la ocurrencia de tocones vivos sigue una distribución de probabilidad Poisson, cuya probabilidad

teórica de encontrar tocones muertos es de 42,3% y la de encontrar entre 1 y 5 tocones vivos fue de un 57,7%.

- Una mayor densidad de los árboles favorece la ocurrencia de tocones vivos, siendo descrito por un modelo exponencial que fue ajustado.

- No se encontró ninguna relación al considerar el Diámetro de tocón en función del Dap del árbol donante.



## V. RESUMEN.

En este estudio se analiza la evidencia de injerto intraespecífico de raíces en un rodal de Pino oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco), de 24 años; a través de la ocurrencia de tocones vivos con y sin presencia de callo. Lo que se constató, a través de un muestreo aleatorio simple, utilizando una muestra de 36 parcelas 100 m<sup>2</sup> de superficie.

Se encontraron 31 tocones vivos (5,6% del total de tocones), estimándose unos 86 tocones/ha injertados a igual número de árboles correspondientes a un 19% de los árboles remanentes. Se observó que la mayor concentración de tocones vivos (27), ocurría a distancias menores a 2 metros del árbol injertado. En cuanto a las características vivas del tocón, se encontró que a los tres años de vida ya existe un crecimiento de tejido calloso parcial o en todo el perímetro del tocón.

Además la ocurrencia del fenómeno sigue una distribución de probabilidad Poisson, con  $\mu=0,86$ , cuya probabilidad teórica de encontrar algún tocón vivo fue de 57,7%. Se observó que la principal variable que explicaba el fenómeno fue la densidad del rodal.

## VI SUMMARY.

Signs of intraspecific root grafting were found in a 24 years *Pseudotsuga menziesii* stand. The occurrence of living stumps and their characteristics were detected through a random sampling, with 36 plots, 100 m<sup>2</sup> each.

Thirty one stumps (5,6% of the total) were found alive. It was estimated that around 86 stumps per hectare were grafted to a same number of trees, which corresponds to a 19% of the total trees in the stand. Most living stumps were found within 2 m from the grafted tree. Growth of callous tissue was found in trees as young as three years old. This growth was partial or all around the stump.

The phenomena studied presented a Poisson distribution, with  $\mu = 0,86$ , and a 57,7% probability of finding a living stump. The main explanatory variable was found to be the stand density.

## **VII. BIBLIOGRAFIA.**

### **7.1 Bibliografía Citada.**

- 1.Canavos, G. 1993.** Probabilidad y estadística aplicaciones y métodos. McGraw-Hill. España. 651p
- 2.Daniel, T., J. Helms y F. Backer. 1982.** Principios de Silvicultura. 1ª edición. McGraw-Hill. México. 492p
- 3.Eis, S. 1972.** Root Grafts and their Silvicultural Implications. Canadian Journal of Forest Research 2: 111-120.
- 4.Geofísica. 1982.** Anuario metereologico. Departamento de física. Facultad de ciencias. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 200p
- 5.Gordon, D. y L. Roth. 1976.** Root Grafting of Port-Orford-cedar-An Infection Route for Root Rot. Forest Science 22(3):276-278.
- 6.Graham, B. Y., Jr., y F. H. Bormann. 1966.** Natural Root Grafts. The Botanical Review 32(3): 255-292.
- 7.Figueroa, E. 1988.** Introducción al Análisis Numérico. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 165p
- 8.Hansen, E. y R. Dickson. 1979.** Water and Mineral Nutrient Transfer Between Root Systems of Juvenile Populus. Forest Science 25(2): 247-252.

9. **Klepzig, K., K. Raffa y E. Smalley. 1991.** Association of an Insect-Fungel Complex with Red Pine Decline in Wisconsin Forest Science. 37(4): 1119-1139.
10. **Lanner, R. 1961.** Living Stumps in the Sierra Nevada. Ecology 42(1): 170-173.
11. **Lipschutz, S. 1993.** Probabilidad. McGraw-Hill. México. 152p
12. **Menges, E. y J. Kuntz. 1985.** Predictive Ecuations for Local Spread of Oak-Wilt in Southern Wisconsin. Forest Science 31(1): 43-51.
13. **Meyer, P. 1992.** Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. 1ª Edición en Español. Estados Unidos. 480p.
14. **Spurr, S. y B. Barnes. 1982.** Ecología Forestal. 1ª edición. AG. T. Editor S. A. México. 690p.
15. **Stone, J. y E. Stone. 1975.** The Communal Roots System of Red Pine: Water Conduction Through Root Grafts. Forest Science 21(3): 255-261.
16. **Valenzuela, M., A. Mora y L. Cid. 1995.** Probabilidades e Inferencia Estadística. Universidad De Concepción. Concepción. Chile. 364p.
17. **Wood, J. y E. Bachelard. 1970.** Root Grafting in Radiata Pine Stands in the Australian Capital Territory. Australian Journal of Botany 18(3): 251-259.

**VII APENDICE.**



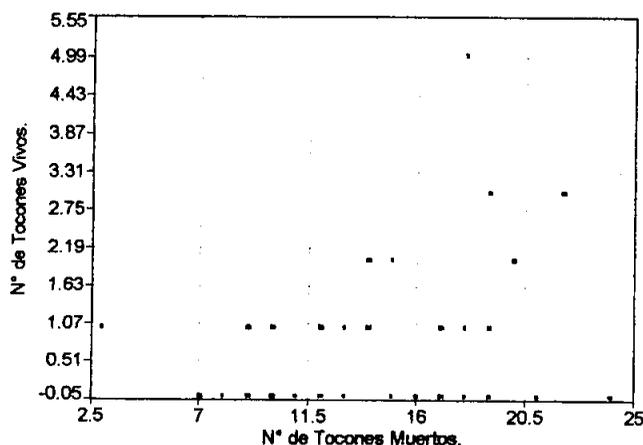


Figura 1A. Gráfica de la dispersión de la nube de puntos para los tocones vivos versus los muertos.

TABLA 1A. Resultados del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable dependiente tocones vivos (y) y los tocones muertos.

Función con Mejor Ajuste : $y = a + b * x_2^{0.5}$					
Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para HO: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Y	Intercepto $x_2$ ..... <sup>a)</sup>	-0.48160645 0.344606508	1.0960274 0.2829931	-0.43941 ns 1.217721 ns	Obs=36 <sup>b)</sup> EEE = 1.1262 <sup>c)</sup> F-Tests <sup>d)</sup> =1.483 ns r =0.20422 <sup>e)</sup> r <sup>2</sup> =0.0417 <sup>f)</sup>

a)  $x_2$ : Número de tocones muertos, b) Obs: Número de observaciones, c) EEE.: Corresponde al Error estándar estimado, d) F-Tests: Valor F para el coeficiente de correlación, e) r: Coeficiente de correlación, f) r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Notas: \*: Significancia al 5%, \*\*: Significancia al 1%, ns: No significativa.

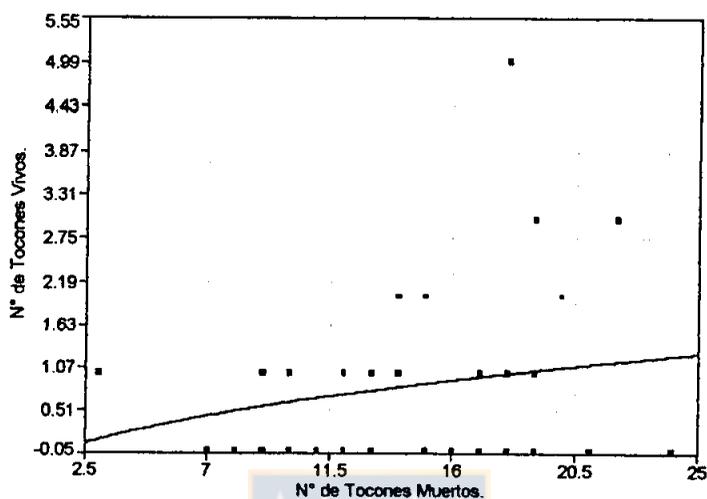


Figura 2A. Gráfica del modelo ajustado para los tocones vivos en función de los muertos.

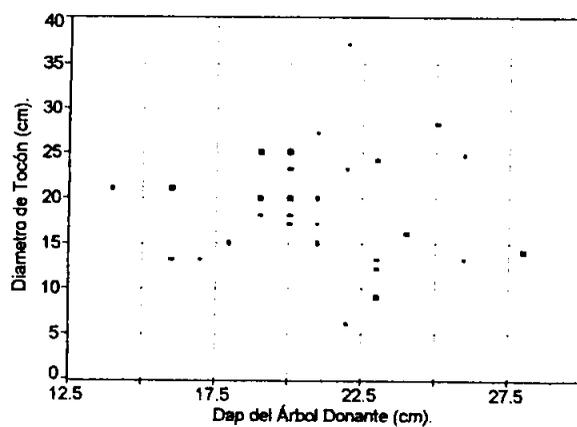


Figura 3A. Gráfica de dispersión de los pares de datos (Diámetro de tocón y Dap del árbol donante).

TABLA 2A. Resultados del análisis de ajuste de los modelos simples, para la variable dependiente Diámetro de tocón (Dt) y el Dap del árbol donante.

Función con Mejor Ajuste : $Dt = a + b * Dap^{0.5}$					
Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para HO: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Dt	Intercepto Dap .....a)	15.9294588 0.70206745	15.85491 3.451880	1.0047 ns 0.2033 ns	Obs=31 <sup>b)</sup> EEE = 6.5831 <sup>c)</sup> F-Tests <sup>d)</sup> =0.041 ns r =0.0374 <sup>e)</sup> r <sup>2</sup> =0.0014 <sup>f)</sup>

a) Dap: Dap del árbol donante (cm), <sup>b)</sup> Obs: Número de observaciones, <sup>c)</sup> EEE.: Corresponde al Error estándar estimado, <sup>d)</sup> F-Tests: Valor F para el coeficiente de correlación, <sup>e)</sup> r: Coeficiente de correlación, <sup>f)</sup> r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Notas: \*: Significancia al 5%, \*\*: Significancia al 1%, ns: No significativa.

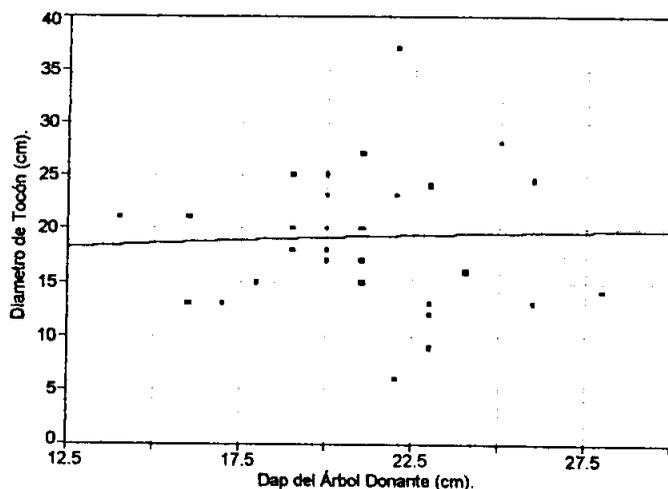


Figura 4A. Gráfica del modelo ajustado para el diámetro de tocón en función del Dap del árbol donante.

**IX ANEXO.**



### **9.1. Formación del injerto natural de raíces.**

En cuanto a la formación del fenómeno, la reconstrucción del proceso de injerto desde las secciones en serie muestra la siguiente secuencia: En general, dos raíces del mismo o diferente tamaño crecen paralela o transversalmente para establecer un punto de contacto (Graham y Bormann, 1966); luego ambas raíces son ancladas en el suelo próximas al punto de contacto, radial al crecimiento que causa una presión para desarrollar el punto de contacto. Alrededor del punto de presión el crecimiento parece ser estimulado, las células del cambium de la región radial crecen rápidamente, y ambas raíces desarrollan un lomo de tejido o tejido calloso como médula, eventualmente la corteza es descompuesta y la continuidad vascular es establecida (varios autores citados por Graham y Bormann, 1966; Eis, 1972).

### **9.2. Formas de injertos.**

De acuerdo a Graham y Bormann (1966), los injertos pueden ser de varias formas: 1) "Intersecciones", las raíces están injertadas a través de ángulos perpendiculares, donde las raíces pueden ser de igual o distinto tamaño. 2) "Injerto longitudinal", cuando las raíces se sitúan paralela y continuas una de otra y se fusionan. 3) "Red-injertos", anastomosis como pie-de pato de raíces, resulta de su presión por un suelo pedregoso, superficial con roca, arcilla. 4) "La raíz-puente", donde se conectan dos raíces, pero se extiende más allá. Las dos raíces así conectadas por el puente, pueden levantarse del mismo árbol o desde árboles diferentes.