

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

**INFORME DE PRACTICA DE ESPECIALIDAD**



**POSIBILIDADES DE SELECCIÓN TEMPRANA EN  
*Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus***

**Edgar Arias Salvatierra**

**Jannette Maldonado Murguía**

**Cartago, Costa Rica 2002**

**POSIBILIDADES DE SELECCIÓN TEMPRANA EN**  
*Pinus patula, Pinus radiata y Eucalyptus globulus*

**Edgar Arias Salvatierra \***  
**Jannette Maldonado Murguía \***

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar posibilidades de selección temprana en *Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. El estudio se realizó en División de Pérez Zeledón, Santo Domingo del Roble de Heredia y en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Durante el desarrollo de esta investigación se evaluaron variables cuantitativas y cualitativas para analizar las posibilidad de predecir el comportamiento futuro de los individuos en plantación. La investigación se realizó con 16 familias de *Pinus patula*, 16 familias de *Pinus radiata* y 14 familias de *Eucalyptus globulus*.

La evaluación de las variables se efectuó tanto en vivero como a un año de plantación, en *Pinus patula* y *Pinus radiata*. En *Eucalyptus globulus* la evaluación se realizó en vivero y a tres meses de plantación. La evaluación buscó determinar por medio de análisis de varianza la existencia de diferencias significativas entre familias, lo cual permitiría seleccionar familias sobresalientes respecto de estas variables. Mediante análisis de correlación se determinó la relación vivero-plantación, que resulto ser muy baja en todas las variables investigadas.

Los resultados indican que las variables cualitativas y cuantitativas a estas edades de plantación no son adecuadas para realizar selección temprana.

**Palabras claves:** Selección temprana, *Pinus patula*, *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, variables cualitativas, cuantitativas, predicción, Heredia, Pérez Zeledón.

---

\* Informe de Práctica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2001

## ABSTRACT

The present investigation had for objective to evaluate possibilities of early selection in *Pinus patula*, *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus*. The study was performed in División de Pérez Zeledón, Santo Domingo del Roble de Heredia and in the forest nursery of the Technological Institute of Costa Rica, Cartago.

During the development of this investigation quantitative and qualitative variables were studied aimed to analyze the prediction possibility of the future behavior of individuals in plantation. The investigation was carried out with 16 families of *Pinus patula*, 16 families of *Pinus radiata* and in 14 families of *Eucalyptus globulus*.

The evaluation of the variables was made in nursery as well as at first year in plantation with *Pinus patula* and *Pinus radiata*. In *Eucalyptus globulus* the evaluation was carried out in the nursery and at three months of plantation. The evaluation tried to determine by means of statistical analysis, the existence of significant differences among families, that which would allow to select excellent families regarding these variables. Through correlation analyses the relationship nursery-plantation was determined, but in all cases a low correlation value was obtained.

The results indicate that the qualitative and quantitative variables to these plantation ages are not adapted to carry out early selection.

**Key words:** Early selection, *Pinus patula*, *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, qualitative, quantitative variables, prediction, Heredia, Pérez Zeledón.

**POSIBILIDADES DE SELECCIÓN TEMPRANA EN**  
*Pinus patula, Pinus radiata y Eucalyptus globulus*

**Informe presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del  
Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Bachiller en Ingeniería Forestal**

**Miembros del Tribunal**

---

**Dr. Olman Murillo Gamboa**  
**Profesor Guía**

---

**M.Sc. Gustavo Torres Córdoba**  
**Lector**

---

**Ing. Marvin Castillo Ugalde**  
**Lector**

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarnos salud y permitirnos terminar la carrera.

A nuestros hijos Diego y Andrea que nos apoyaron y comprendieron durante los años de estudio.

A nuestros padres y hermanos que nos incentivaron constantemente para lograr nuestro objetivo.

A los amigos que siempre nos apoyaron para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Olman Murillo G. por brindarnos sus valiosos conocimientos, su apoyo en la realización de la presente investigación, por su amistad y comprensión.

Al M.Sc Freddy Rojas por su amistad, su constante apoyo y orientación durante nuestra permanencia en Costa Rica.

Al M.Sc. Gustavo Torrez por su aporte en la revisión del presente documento y por la amistad que nos brindó junto a su esposa Mimi.

Al Ing. Marvin Castillo por sus enseñanzas, su colaboración en la revisión de este documento y su amistad.

A la Ing. Yorleny Badilla por su aporte en la toma de datos y su procesamiento, y en especial por su amistad.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Forestal por su orientación estímulo.

Para Ana Maria Terrazas un especial agradecimiento de parte de Jannette.

A los compañeros bolivianos por su permanente solidaridad en malos y buenos momentos.

A todos los amigos costarricenses por brindarnos su amistad

Y en especial a nuestras familias que desde Bolivia nos brindaron su incondicional apoyo

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT.....	iii
ACREDITACION .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
INDICE GENERAL .....	vii
INDICE DE CUADROS .....	xi
INDICE DE FIGURAS .....	xv
INDICE DE ANEXOS .....	xviii
CAPITULO 1.....	19
SELECCIÓN TEMPRANA EN <i>Pinus patula</i> .....	19
INTRODUCCIÓN .....	19
OBJETIVOS .....	20
Objetivo General.....	20
Objetivo Específico.....	20
GENERALIDADES DE LA ESPECIE.....	21
METODOLOGIA .....	22
Variables evaluadas en vivero .....	22
Localización de las parcelas de ensayo y variables evaluadas a un año de plantación ....	23
Análisis estadístico .....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
RESULTADOS SITIO 2300 msnm .....	24
Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en vivero y a un año de plantación .....	24
Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en vivero y a un año de plantación.....	26

[Continua la siguiente pagina...](#)

Porcentaje de mortalidad en <i>Pinus patula</i> a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.....	27
Análisis estadístico. ....	29
RESULTADOS SITIO 2600 msnm .....	34
Promedio de crecimiento en diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en vivero y a un año de plantación .....	34
Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en vivero y a un año de plantación.....	36
Porcentaje de mortalidad en <i>Pinus patula</i> a un año de plantación según clase de diámetro al cuello y clase de altura.....	37
Análisis estadístico .....	39
CONCLUSIONES .....	47
RECOMENDACIONES.....	49
CAPITULO 2.....	50
SELECCIÓN TEMPRANA EN <i>Pinus radiata</i> .....	50
INTRODUCCIÓN .....	50
OBJETIVOS .....	51
Objetivo General.....	51
Objetivo Específico.....	51
GENERALIDADES DE LA ESPECIE.....	52
METODOLOGÍA .....	53
Variables evaluadas en vivero .....	53
Localización de las parcelas de ensayo y variables evaluadas a un año de plantación ....	54
Análisis estadístico .....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
RESULTADOS SITIO 2300 msnm .....	56
Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de <i>Pinus radiata</i> , en vivero y a un año de plantación .....	56
Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus radiata</i> en vivero y a un año de plantación.....	58

Continua la siguiente pagina....

Porcentaje de mortalidad en <i>Pinus radiata</i> a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.....	59
Análisis estadístico .....	61
RESULTADOS SITIO 2600 msnm .....	66
Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de <i>Pinus radiata</i> en vivero y a un año de plantación .....	66
Relación diámetro al cuello/altura de <i>Pinus radiata</i> en vivero y a un año de plantación.....	68
Porcentaje de mortalidad en <i>Pinus radiata</i> a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.....	69
Análisis estadístico .....	71
CONCLUSIONES .....	78
RECOMENDACIONES.....	79
CAPITULO 3.....	80
SELECCIÓN TEMPRANA EN <i>Eucalyptus globulus</i> .....	80
INTRODUCCIÓN .....	80
OBJETIVOS .....	82
Objetivo General.....	82
Objetivo Específico.....	82
GENERALIDADES DE LA ESPECIE.....	82
METODOLOGÍA .....	84
Descripción de las variables evaluadas en vivero.....	84
Localización de la parcela de ensayo y variables evaluadas a tres meses de plantación.....	84
Análisis estadístico .....	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	86
Altura promedio por familia, en vivero y a tres meses de plantación .....	86
Incremento promedio en altura por familia en vivero y a tres meses de plantación.....	87
Relación diámetro al cuello y altura en vivero .....	88
Análisis estadístico .....	88

[Continua la siguiente pagina....](#)

CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA .....	94
ANEXOS .....	96

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de <i>Pinus patula</i> , a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	29
Cuadro 2. Correlaciones vivero – primer año de plantación en los ensayos de <i>Pinus patula</i> , a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	30
Cuadro 3. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cualitativas al primer año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	30
Cuadro 4. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cuantitativas a un año de plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	31
Cuadro 5. Diferencias entre familias de <i>Pinus patula</i> en variables cualitativas en una plantación de 1 año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	32
Cuadro 6. Diferencias entre familias de <i>Pinus patula</i> , a un año de edad en variables cuantitativas a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	33
Cuadro 7. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de <i>Pinus patula</i> , a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	39
Cuadro 8. Correlaciones vivero – primer año plantación en los ensayos de <i>Pinus patula</i> , a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	39
Cuadro 9. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cualitativas a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	40

[Continua la siguiente](#)

Cuadro 10. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cuantitativas a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	40
Cuadro 11. Diferencias entre familias de <i>Pinus patula</i> en variables cualitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	41
Cuadro 12. Diferencias entre familias de <i>Pinus patula</i> en variables cuantitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	42
Cuadro 13. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cualitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.....	43
Cuadro 14. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus patula</i> , para variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.....	43
Cuadro 15. Índice de mortalidad por familia para <i>Pinus patula</i> , a 2300 msnm y 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	44
Cuadro 16. Heredabilidad familiar de <i>Pinus patula</i> para las variables cualitativas y cuantitativas a un año de plantación, a 2300 y 2600 msnm en Finca Roblesa, División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	45
Cuadro 17. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de <i>Pinus radiata</i> , a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	61
Cuadro 18. Correlaciones vivero – primer año de plantación en los ensayos de <i>Pinus radiata</i> , a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	62
Cuadro 19. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cualitativas en plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	62

[Continua la siguiente pagina....](#)

Cuadro 20. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cuantitativas en plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	63
Cuadro 21. Diferencias entre familias de <i>Pinus radiata</i> en variables cualitativas en una plantación de 1 año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	63
Cuadro 22. Diferencias entre familias de <i>Pinus radiata</i> , en variables cuantitativas en una plantación de un año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	64
Cuadro 23. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de <i>Pinus radiata</i> , a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	71
Cuadro 24. Correlaciones vivero – primer año plantación en los ensayos de <i>Pinus radiata</i> , a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	72
Cuadro 25. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cualitativas en plantación al primer año a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	72
Cuadro 26. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cuantitativas en plantación al primer año a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	73
Cuadro 27. Diferencias entre familias de <i>Pinus radiata</i> para variables cualitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	73
Cuadro 28. Diferencias entre familias de <i>Pinus radiata</i> , en variables cuantitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	74
Cuadro 29. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cualitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. ....	74

[Continua la siguiente pagina....](#)

Cuadro 30. Análisis de varianza entre familias de <i>Pinus radiata</i> , para variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.....	75
Cuadro 31. Índice de mortalidad por familia para <i>Pinus radiata</i> a 2300 msnm y 2600 msnm, en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	76
Cuadro 32. Heredabilidad familiar para las variables cuantitativas y cualitativas a un año de plantación para <i>Pinus radiata</i> , a 2300 y 2600 msnm Finca Roblesa, División de Pérez Zeledón.....	77
Cuadro 33. Correlaciones vivero – tres meses de plantación para los ensayos de <i>Eucalyptus globulus</i> a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.....	88
Cuadro 34. Análisis de varianza entre familias de <i>Eucalyptus globulus</i> de la variable altura a los tres meses de plantación a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.....	89
Cuadro 35- Diferencias en altura entre familias de <i>Eucalyptus globulus</i> en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.....	90
Cuadro 36. Análisis de varianza de variables cualitativas entre familias de <i>Eucalyptus globulus</i> en vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. ....	90
Cuadro 37. Análisis de varianza entre familias de <i>Eucalyptus globulus</i> de variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago.....	91
Cuadro 38. Formulario para la evaluación de plántulas en vivero ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	96
Cuadro 39. Formulario de campo para la evaluación de ensayos de progenie ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	96
Cuadro 40. Formulario para la evaluación de plántulas en vivero ( <i>Eucalyptus globulus</i> ).....	97
Cuadro 41. Formulario de campo para la evaluación de ensayos de progenie ( <i>Eucalyptus globulus</i> ).....	97

[Continua la siguiente pagina....](#)

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Pinus patula</i> . .....	21
Figura 2. Diámetro al cuello promedio por familia de <i>Pinus patula</i> , en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	24
Figura 3. Altura promedio por familia de <i>Pinus patula</i> , en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	25
Figura 4. Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica. ....	26
Figura 5. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de <i>Pinus patula</i> a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	26
Figura 6. Porcentaje de mortalidad en plantación de un año de edad de <i>Pinus patula</i> , a 2300 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero. ....	27
Figura 7. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus patula</i> , a 2300 msnm, según clases de altura en vivero.....	28
Figura 8. Diámetro al cuello promedio por familia de <i>Pinus patula</i> , en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	34
Figura 9. Altura promedio por familia de <i>Pinus patula</i> en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	35
Figura 10. Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus patula</i> en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica .....	36
Figura 11. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de <i>Pinus patula</i> a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	36
Figura 12. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus patula</i> a 2600 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero. ....	37
Figura 13. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus patula</i> a 2600 msnm, según clase de altura en vivero. ....	38
Figura 14. <i>Pinus radiata</i> , conos, semilla y acículas. ....	52
Figura 15. Fuste y corteza de <i>Pinus radiata</i> .....	52
Figura 16. Plantación de <i>Pinus radiata</i> .....	53

Figura 17. Diámetro al cuello promedio por familia de <i>Pinus radiata</i> , en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	56
Figura 18. Altura promedio por familia de <i>Pinus radiata</i> , en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	57
Figura 19. Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus radiata</i> en el vivero forestal del ITCR, Cartago. Costa Rica. ....	58
Figura 20. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de <i>Pinus radiata</i> en plantación de un año de edad, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	58
Figura 21. Porcentaje de mortalidad en plantación de un año de edad de <i>Pinus radiata</i> a 2300 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero. ....	59
Figura 22. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus radiata</i> , a 2300 msnm, según clases de altura en vivero. ....	60
Figura 23. Diámetro al cuello promedio por familia de <i>Pinus radiata</i> , en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	66
Figura 24. Altura promedio por familia de <i>Pinus radiata</i> en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm División de Pérez Zeledón, Costa Rica. ....	67
Figura 25. Relación diámetro al cuello y altura de <i>Pinus radiata</i> en el vivero forestal del ITCR, Cartago, Costa Rica. ....	68
Figura 26. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de <i>Pinus radiata</i> en plantación de un año de edad, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.....	68
Figura 27. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus radiata</i> a 2600 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero. ....	69
Figura 28. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de <i>Pinus radiata</i> a 2600 msnm, según clase de altura en vivero.....	70
Figura 29. Plántula de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	82
Figura 30. Detalle de la flor. de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	83

[Continua la siguiente pagina...](#)

Figura 31. Fruto de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	83
Figura 32. Altura promedio por familia de <i>Eucalyptus globulus</i> , en vivero y a tres meses de plantación a 1800 msnm en Santa Barbara de Heredia, Costa Rica.....	86
Figura 33. Incremento promedio en altura por familia de <i>Eucalyptus globulus</i> , en vivero y a tres meses de plantación a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.....	87
Figura 34. Relación diámetro al cuello y altura de <i>Eucalyptus globulus</i> en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica. ....	88
Figura 35. Familias de <i>Eucalyptus globulus</i> identificadas en el bancal. ....	100
Figura 36. Categorías de la variable Calidad ( <i>Eucalyptus globulus</i> ) .....	100

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formulario para la evaluación de plántulas en vivero ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	96
Anexo 2. Formulario de campo para la evaluación de ensayos de progenie ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	96
Anexo 3. Formulario para la evaluación de plántulas en vivero ( <i>Eucalyptus globulus</i> ).....	97
Anexo 4. Formulario de campo para la evaluación de ensayos de progenie ( <i>Eucalyptus globulus</i> ).....	97
Anexo 5. Parcelas de ensayo de progenie, sitio 2300 msnm ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	98
Anexo 6. Parcelas de ensayo de progenie sitio 2600 msnm ( <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus radiata</i> ).....	99
Anexo 7. Fotografías de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	100

## CAPITULO 1

### SELECCIÓN TEMPRANA EN *Pinus patula*

#### INTRODUCCIÓN

El Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), está desarrollando ensayos de progenie con *Pinus patula*, en la Finca Roblesa, ubicada en División de Pérez Zeledón y a su vez realizando evaluaciones del material genético en el vivero del ITCR.

Para obtener buenos resultados con especies introducidas, como el *Pinus patula*, es necesario probar la factibilidad de desarrollo de todo el potencial genético y productivo de esta especie, dependiendo del uso que se le desea dar. Por lo que se debe considerar la elección de las procedencias como algo fundamental y evaluar en vivero éste material genético. Esto trae una gran ventaja en los ensayos de plantación de progenies y a corto plazo en la selección temprana.

Según Zobel & Talbert (1984), una forma de reducir el tiempo de selección de los mejores individuos y las mejores familias de una especie en los programas de mejoramiento forestal, es hacer las selecciones en los pruebas genéticas mucho antes de que los árboles hayan alcanzado la edad de rotación. Debe existir una alta correlación genética entre la edad de rotación y una etapa más juvenil para que la selección temprana de buenos resultados. Estas correlaciones según dicho autor son consideradas como juvenil-maduro.

Algunos trabajos relacionados con ensayos de 18 a 19 años, donde se midió la altura, el diámetro, volumen y mortalidad, no mostró mucha correlación con las medidas realizadas inicialmente para la selección temprana, la cual no es muy precisa para ciertas características. (Kleinschmit *et al.*, 1996).

El presente informe muestra resultados sobre las relaciones y correlaciones existentes entre variables cualitativas y cuantitativas por familia y pretende aportar criterios para seleccionar los mejores árboles desde la etapa de vivero para luego estos sean llevados al campo, eliminando así la posibilidad de tener plantaciones con árboles de baja calidad. Estos ensayos buscan avalar la calidad genética de los progenitores y determinan los valores de heredabilidad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Contribuir con el Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la definición de posibilidades de realizar selección temprana en *Pinus patula*

### **Objetivo Específico**

Iniciar un sistema de selección temprana en *Pinus patula*, basado en la identificación de variables que permitan predecir el comportamiento futuro de los individuos en plantación.

## GENERALIDADES DE LA ESPECIE

El *Pinus patula* es una especie originaria de México, se desarrolla en altitudes que van de los 1650 a los 3100 msnm, requiere de zonas cálidas a frías y frecuentes nieblas , precipitación entre 1000 a 1200 mm por año, con temperaturas entre los 12 a 16 ° C. Su desarrollo es



óptimo en terrenos quebrados o planos, con suelos bien drenados y húmedos. Es una especie que no soporta sequías pero si resiste fríos. (Lobo, 1980)

Arbol de fuste recto, copa rala, posee acículas de tres en cada fascículo, con cerca de 20 cm de largo, delgadas, colgantes de color verde claro, brillantes, finamente aserradas en los bordes, con secciones angulosas. Sus conos nuevos laterales perpendiculares y los conos maduros tienen cerca de 8 cm de largo o más en grupos de 3 a 6 , localizados en el tronco y en las ramas gruesas. (Rodríguez M.)

Figura 1. *Pinus patula*.

El *Pinus patula* es una especie exótica en Costa Rica, que fue introducida en los años 69. Se estableció una plantación de investigación en Turrialba y otra en la zona recreativa nacional de Prusia de Cartago. (Lobo,1980)

## **METODOLOGIA**

Esta investigación se inicia el año 1999 con semillas procedentes de 20 familias plus, del Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Banco de Semillas Forestales (BASFOR), de Cochabamba, Bolivia. El almácigo de esta semilla se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago.

### **Variables evaluadas en vivero**

Después de 13 meses de edad en vivero, se registro información de cada plántula donde se evaluaron las siguientes variables: Altura total (cm); diámetro al cuello (mm); bifurcación (bajo dos categorías 1= no bifurcado 2= bifurcado); número de verticilos, altura primer verticilo (cm), rectitud del tallo (1= con tallo totalmente recto, 2= tallo con torceduras leves, 3= tallos con torceduras severas y evidentes); estado fitosanitario cuya incidencia y severidad se registró bajo tres categorías: (1= plántula sana sin problemas fitosanitarios visibles y vigorosas, 2= plántula relativamente sana, con alguna evidencia de problemas fitosanitarios pero que no corre riesgo de morir; 3= enferma, plántulas con problemas fitosanitarios que afectan el desarrollo normal de la plántula); La variable calidad se registró bajo las siguientes categorías, calidad 1= plántula de primera calidad con ausencia total de características indeseables, 2= plántula con presencia de una sola característica indeseable que no sea bifurcación, 3= plántula de mala calidad con presencia de dos o más características indeseables que afectan notoriamente la calidad de la madera y su capacidad de sobrevivencia. (Murillo, 2001)

Todos los individuos de cada familia se identificaron con un número consecutivo. Posteriormente se seleccionaron 16 familias y de cada una de ellas se eligió al azar 9 individuos para ser establecidos en cada sitio o bloque en el campo.

### **Localización de las parcelas de ensayo y variables evaluadas a un año de plantación**

Las plantaciones se realizaron en dos parcelas (sitios) como ensayos de progenie: Sitio 1 a 2300 msnm de altitud (Bosque pluvial Montano bajo), Sitio 2 a 2600 msnm de altitud (Bosque pluvial Montano), estas parcelas se ubicaron en la Finca Roblesa en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. En cada parcela se establecieron con 144 individuos distribuidos aleatoriamente en 5 parejas, con individuos de las 16 familias, el distanciamiento entre plantas fue de 3 x 3 m.

Después de un año de establecidas estas plantaciones, se realizó una evaluación a cada individuo, considerándose las siguientes variables: altura (cm), diámetro al cuello (mm), bifurcación, altura primer verticilo (cm), número de verticilos, rectitud del fuste, estado fitosanitario, calidad y mortalidad. Las categorías utilizadas para estas variables fueron las mismas que para vivero.

### **Análisis estadístico**

El análisis de las variables se realizó individualmente para cada sitio, los datos fueron procesados en una hoja Excel, efectuando así los respectivos análisis de varianza (ANDEVA), apoyados con el programa SAS (Versión 1998), y las pruebas Chi-cuadrado, para determinar posibles diferencias entre familias y sus variables.

Se realizaron pruebas de correlación juvenil-adulto de las variables cuantitativas (diámetro al cuello, altura, altura primer verticilo, número de verticilos) y cualitativas ( bifurcación, estado fitosanitario, ángulo de ramas, rectitud, calidad, mortalidad). Las pruebas de correlación cuyos valores fueron menores a los reportados en este documento, no se incluyeron en los cuadros respectivos por ser poco significativos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados Sitio 2300 msnm

#### Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en vivero y a un año de plantación

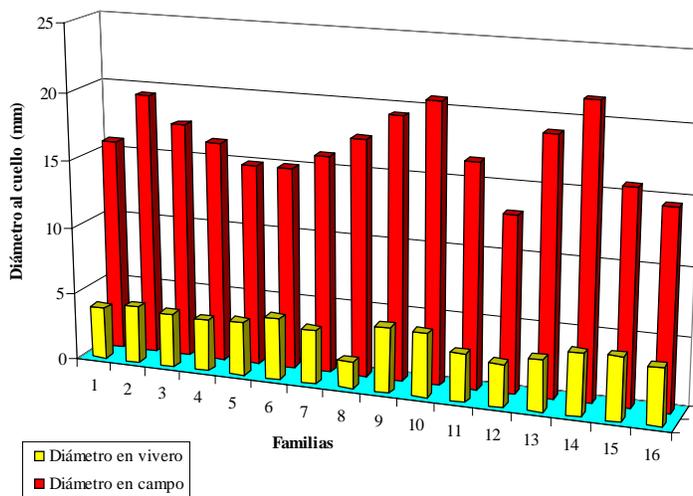


Figura 2. Diámetro al cuello promedio por familia de *Pinus patula*, en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica

El mayor crecimiento en diámetro al primer año de plantación se registró en la familia 14, seguido de las familias 10, 9 y 2. Las familias con menores crecimientos fueron la 12, 6 y 16. De manera general, las mismas familias que habían registrado un mayor crecimiento en diámetro al cuello en vivero, presentaron el mayor incremento en diámetro al cuello al primer año en plantación, con excepción de la familia 8. Esta familia presentó en vivero el menor crecimiento respecto de las demás familias, pero al año en campo registró el mayor incremento. Este tipo de resultados refuerzan el concepto de no seleccionar a tan temprana edad, sino hasta que se haya expresado completamente el genotipo en el ambiente.

El incremento promedio del diámetro al cuello correspondiente a todas las familias y a un año de plantación fue de 13 mm, siendo este incremento mayor al registrado en el sitio 2600msnm, esto indica que *Pinus patula* se adapta mejor a las condiciones de este sitio.

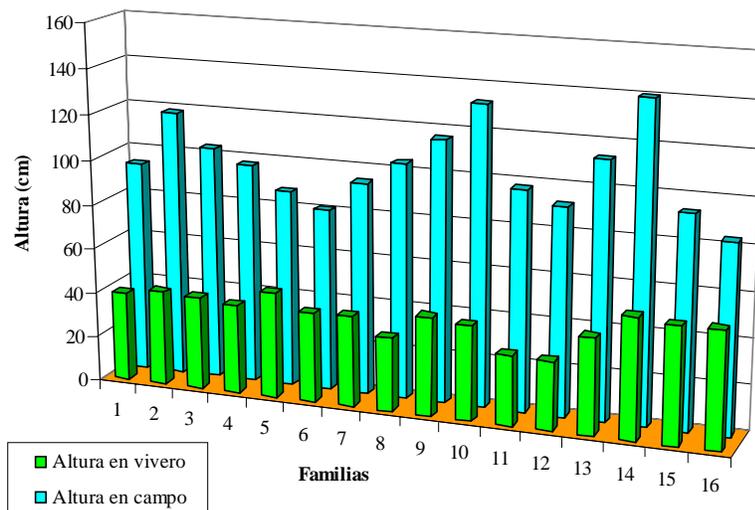


Figura 3. Altura promedio por familia de *Pinus patula*, en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

De los 144 individuos del sitio 1 (2300 msnm) pertenecientes a 16 familias, los individuos de las familias 14, 10 y 2 presentaron (en este orden de importancia) el mayor crecimiento en altura, mientras que la familia 16 y 6 los menores crecimientos. La tendencia del crecimiento en altura de las familias tanto en vivero como en campo fue similar.

Los incrementos se ubican en un rango de 31 a 90 cm. El incremento promedio en altura para las 16 familias fue de 61 cm. Este valor es mayor al registrado en el sitio 2600 msnm, lo que confirma que las condiciones del sitio 2300 msnm son las mejores para esta especie

## Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en vivero y a un año de plantación.

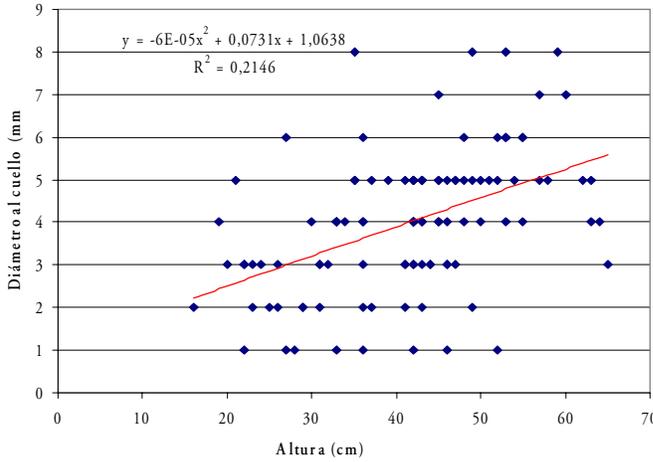


Figura 4. Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica.

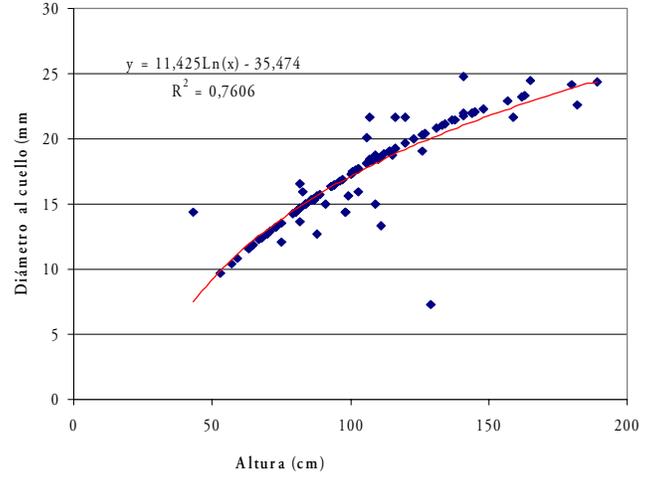


Figura 5. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de *Pinus patula* a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Las figuras 4 y 5 presenta, la diferencia que existe en las ecuaciones de regresión para la relación altura y diámetro al cuello en vivero y en la plantación de un año. Esta diferencia fue probablemente ocasionada por la introducción de un factor de error durante la medición del diámetro al cuello en vivero. El diámetro fue medido con vernier pero al momento de la medición la presión ejercida sobre el instrumento ocasionó que el tallo succulento de las plantas cedieran, dando origen al error. Otra explicación es que en vivero las condiciones de competencia dentro del bancal y la sensibilidad mayor de las plántulas a los cambios de luz, pueden producir un sesgo en la relación altura – diámetro al cuello, y por tanto un menor ajuste en la ecuación.

**Porcentaje de mortalidad en *Pinus patula* a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.**

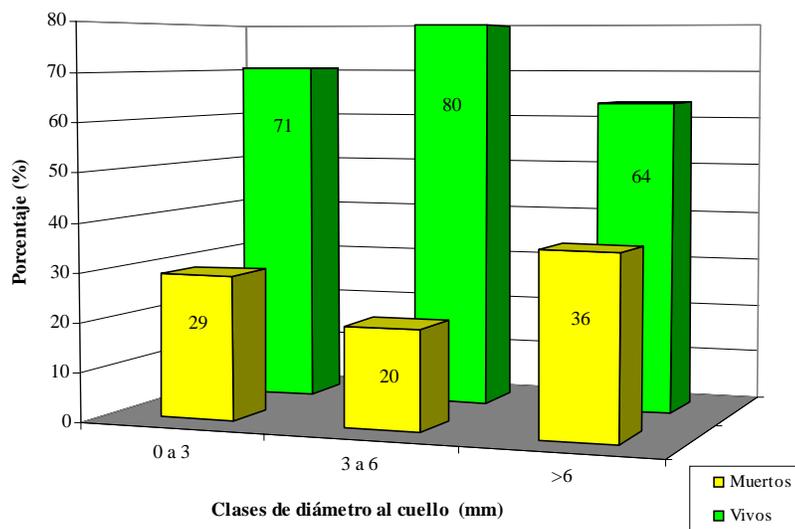


Figura 6. Porcentaje de mortalidad en plantación de un año de edad de *Pinus patula*, a 2300 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero.

El mayor porcentaje de mortalidad se encuentran en la clase de diámetro al cuello superior a los 6 mm y representa el 36 %, seguido de la clase 0 a 3 mm, con el 29% de mortalidad. En la clase de diámetro al cuello 3 a 6 mm se encuentra el menor porcentaje de mortalidad (20%) y el mayor porcentaje de sobre vivencia (80%). Las plántulas que se llevaron al campo con tamaño excesivo presentaron mayores problemas de adaptación e impacto del viento y agua. Las plántulas muy pequeñas presentaron problemas con el control tardío de malezas. Puede notarse entonces, que el ámbito de mayor sobrevivencia oscila en un diámetro al cuello entre los 3 y 6 mm al final del período de vivero.

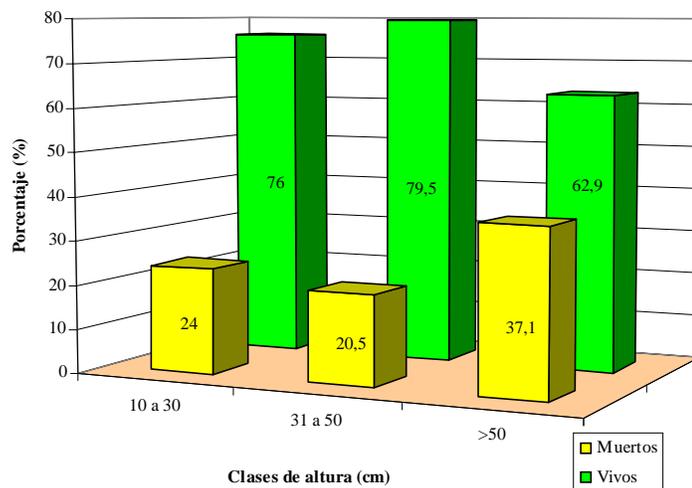


Figura 7. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus patula*, a 2300 msnm., según clases de altura en vivero.

Las clases de altura comprendidas entre 10 a 30 cm y mayores a 50 cm, son las que registraron el mayor porcentaje de mortalidad en campo (24 y 37,1% respectivamente). Mientras que los individuos de la clase 31 a 50 cm, fueron los que tuvieron el menor porcentaje de mortalidad (20,5%). Estos porcentajes de mortalidad se deben a que plántulas pequeñas son menos resistentes a las adversidades del sitio (clima, suelo, competencia con malezas), en este sitio existe una fuerte competencia con malezas. Los individuos de altura superior a los 50 cm son plántulas que no están completamente lignificadas debido a la competencia por luz en el bancal y por tanto son más susceptibles a daños mecánicos ocasionados por la acción del viento y agua.

### Análisis estadístico.

Cuadro 1. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de *Pinus patula*, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	$\chi^2_{2GL}$
Clases de diámetro al cuello de 3 mm	2.202 n.s.
Clases de alturas de 20 cm	3.6500 *

Nota. n.s. diferencias no significativas \* diferencias significativas al 95%.

El valor de Chi-cuadrado ( $\chi^2 = 2.2026$ ) para la mortalidad en las diferentes clases de diámetro al cuello, indica que no se encontraron diferencias significativas entre familias.

La prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2 = 3.650$ ) muestra, que la diferencia de mortalidad entre las clases de altura es poco significativa. Sin embargo existe una tendencia a presentar mayor mortalidad la clase superior a 50 cm.

Cuadro 2. Correlaciones vivero – primer año de plantación en los ensayos de *Pinus patula*, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variables</b>	<b>r</b>
Diámetro al cuello en vivero - altura primer verticilo a un año de plantación	0,1168
Altura en vivero - altura primer año de plantación	0,3095
Altura en vivero - altura primer verticilo en plantación	0,3377
Altura en vivero - distancia entre verticilos a un año de plantación	0,1727
Diámetros al cuello en vivero - diámetro al cuello a un año de plantación	0,1438
Número de verticilos en vivero - número de verticilos a un año de plantación	0,2730
Diámetro al cuello en vivero - altura a un año de plantación	0,1522

En el cuadro 2 se observa que los valores obtenidos en las correlaciones, en su mayoría no superan el 33 %. Por lo que no se observa ninguna relación juvenil/primer año en plantación para esta especie en este sitio.

Cuadro 3. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cualitativas al primer año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Reiteración	0,98	0,486 n.s
Bifurcación	2,04	0,0202 *
Estado fitosanitario	0,94	0,5188 n.s
Angulo de ramas	1,27	0,2406 n.s
Rectitud	0,72	0,7599 n.s
Calidad	0,94	0,5221 n.s
Mortalidad	1,13	0,3362 n.s

Nota: \* significativo a un 95% y n.s. no significativo.

El cuadro 3 resume los análisis de varianza para las variables cualitativas entre familias. Los resultados muestran que para las variables reiteración, estado fitosanitario, ángulo de ramas, rectitud, calidad y mortalidad no se obtuvieron diferencias significativas entre familias. La variable bifurcación fue la única que presentó diferencias significativas entre familias. Este resultado sugiere una posible selección temprana de familias libres o con menos incidencia de bifurcaciones.

Cuadro 4. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cuantitativas a un año de plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Diámetro al cuello	3,83	0,0001 ***
Altura	2,62	0,0026 *
Altura primer verticilo	1,82	0,0431 n.s
Número de verticilos	1,23	0,2649 n.s

Nota: \* significativo a un 95%, \*\*\* significativo a un 99.9 % y n.s. no significativo.

El análisis de varianza para las variables cuantitativas muestra que las variables de diámetro al cuello y altura presentaron diferencias significativas entre familias. Sin embargo, los resultados mostraron una tendencia de superioridad y grandes diferencias entre ellas. Por lo tanto un buen augurio del potencial de mejoramiento en volumen a futuro. Estos resultados deberán compararse con otros que se obtengan a mayores edades, antes de ser utilizados como criterios de selección temprana.

Cuadro 5. Diferencias entre familias de *Pinus patula* en variables cualitativas en una plantación de 1 año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Reiteración DMS = 0,2769			Bifurcación DMS=0,4841			Rectitud DMS=1,4363			Angulo de ramas DMS=0,2936			Estado fitosanitario DMS=0,1998			Calidad DMS=1,6652			Mortalidad DMS=0,7017		
$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia
1,17	6	15	1,50	6	5	2,00	6	4	1,22	9	11	1,14	7	2	2,33	6	15	1,44	9	13
1,14	7	2	1,50	6	15	1,80	5	6	1,14	7	14	1,00	9	1	2,20	5	6	1,44	9	6
1,00	9	1	1,40	5	6	1,67	6	5	1,00	9	1	1,00	8	3	2,17	6	5	1,44	9	7
1,00	6	4	1,40	5	16	1,67	6	15	1,00	6	4	1,00	6	4	2,00	6	4	1,44	9	16
1,00	6	5	1,38	8	3	1,60	5	13	1,00	6	5	1,00	6	5	2,00	5	16	1,33	9	5
1,00	5	6	1,20	5	13	1,57	7	2	1,00	7	2	1,00	5	6	1,88	8	3	1,33	9	4
1,00	8	3	1,14	7	8	1,57	7	12	1,00	5	7	1,00	5	7	1,86	7	2	1,33	9	15
1,00	7	8	1,13	8	10	1,44	9	11	1,00	7	8	1,00	7	8	1,71	7	12	1,22	9	2
1,00	7	9	1,11	9	1	1,44	9	1	1,00	7	9	1,00	7	9	1,67	9	1	1,22	9	14
1,00	8	10	1,00	7	2	1,43	7	14	1,00	8	10	1,00	8	10	1,60	5	13	1,22	9	12
1,00	9	11	1,00	9	11	1,43	7	9	1,00	8	3	1,00	9	11	1,57	7	8	1,22	9	8
1,00	7	12	1,00	6	4	1,43	7	8	1,00	7	12	1,00	7	12	1,50	4	7	1,13	8	9
1,00	5	13	1,00	7	9	1,40	5	7	1,00	5	13	1,00	5	13	1,44	9	11	1,11	9	3
1,00	7	14	1,00	7	14	1,38	8	10	1,00	5	6	1,00	7	14	1,43	7	14	1,11	9	10
1,00	5	7	1,00	5	7	1,20	5	16	1,00	6	15	1,00	6	15	1,43	7	9	1,00	9	1
1,00	5	16	1,00	7	12	1,13	8	3	1,00	5	16	1,00	5	16	1,38	8	10	1,00	9	11

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Valores cercanos a 1 son los mejores (ausencia del defecto)

En el cuadro 5 se observa que las familias que se encuentran entre las mejores 5 posiciones en el escalafón (o ranking) para las variables reiteración, bifurcación, rectitud, ángulo de ramas, estado fitosanitario, calidad y mortalidad, son las familias 8, 9, 10, 14 seguidas por la 7 y 11. Sin embargo la familia 7 registró una mortalidad de un 44 %, lo que la ubica como una familia con problemas de adaptación a este sitio. Las familias 15, 6, 5 y 13 aparecen como las peores del programa.

Cuadro 6. Diferencias entre familias de *Pinus patula*, a un año de edad en variables cuantitativas a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Diámetro al cuello DMS=4,1155			Altura DMS=25,78			H Primer verticilo DMS=23,442			No.Verticilos DMS=1,8332		
$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia
21,53	7	14	140,29	7	14	71,14	7	14	4,00	8	3
20,66	8	10	132,50	8	10	52,71	7	2	3,88	8	10
19,42	7	2	118,43	7	2	52,14	7	9	3,67	6	4
19,37	7	9	116,00	7	9	48,80	5	13	3,60	5	13
18,96	5	13	113,40	5	13	47,11	9	1	3,29	7	8
17,53	7	8	104,43	7	8	47,00	6	15	3,14	7	9
17,49	8	3	104,00	8	3	46,40	5	16	3,11	9	1
16,54	9	11	97,67	9	11	43,00	7	12	2,86	7	2
16,35	6	4	97,67	6	4	41,80	5	7	2,86	7	12
16,03	5	7	94,40	5	7	39,33	6	4	2,83	6	15
15,78	9	1	94,22	9	1	38,71	7	8	2,67	6	5
15,75	6	15	93,83	6	15	38,67	9	11	2,60	5	7
14,93	5	6	91,86	7	12	36,50	6	5	2,57	7	14
14,91	6	5	87,50	6	5	34,75	8	10	2,56	9	11
14,58	5	16	83,40	5	16	34,60	5	6	2,20	5	16
13,05	7	12	81,00	5	6	34,25	8	3	2,00	5	6

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Del cuadro 6 se obtiene que, las mejores 5 familias según las variables cuantitativas fueron las familias 14, 2, 9, 13 y 10 en este orden. Por tanto para el sitio 1 (2300 msnm) las familias con las mejores características al primer año, tanto cualitativas como cuantitativas fueron las familias 14, 9, 10 y 2. Mientras que las familias 15, 6 y 5 coinciden nuevamente con los peores valores cuantitativos y cualitativos del programa.

Del análisis de varianza para los datos de vivero, las mejores familias en orden de importancia fueron las familias 14, 13, 9, 16, y 2. Estos resultados coinciden con los análisis de varianza realizado con base en los datos de un año de plantación. Cabe destacar que familias con individuos sobresalientes (mayor altura, diámetros, mejor calidad, etc.) en vivero, tienden a mantener el mismo comportamiento al primer año de plantación.

## Resultados Sitio 2600 msnm

### Promedio de crecimiento en diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en vivero y a un año de plantación

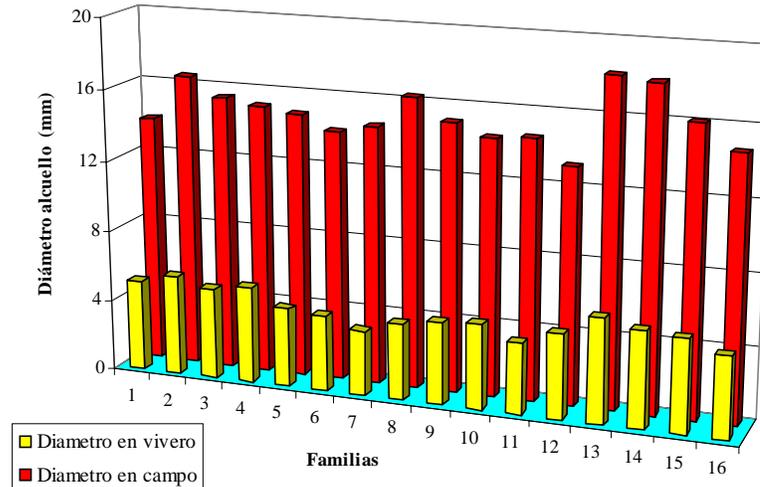


Figura 8. Diámetro al cuello promedio por familia de *Pinus patula*, en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica

El mayor crecimiento en diámetro al cuello al primer año de plantación se registró en la familia 13, seguido de las familias 14, 8 y 2. Las familias con menores crecimientos fueron la 12 y 1. De manera general, la tendencia de crecimiento en diámetro al cuello de las familias en vivero como al primer año en campo se mantuvo. La excepción fue la familia 7 que en vivero presentó menor crecimiento respecto de las demás familias, pero que a un año de plantación presentó un incremento en diámetro al cuello de 11.1 mm. Mientras que el menor crecimiento en diámetro al cuello se registró en la familia 12.

La familia que presentó el mayor incremento en diámetro al cuello fue la familia 8. El incremento promedio en diámetro al cuello para todas las familias fue de 10 mm. Comparando el sitio 2300 y 2600 msnm se observó que las familias 14 y 8 son las familias que registraron en ambos sitios los valores más altos en incremento en diámetro y la familia 12 el menor.

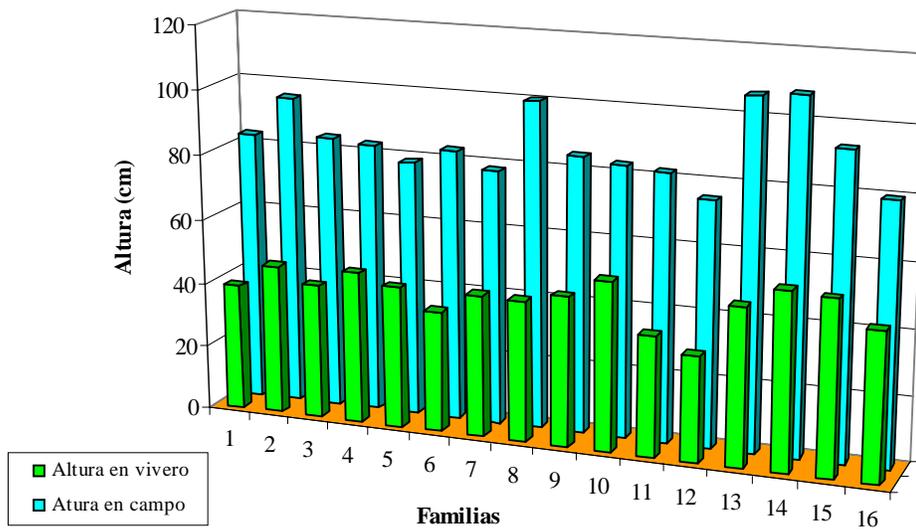


Figura 9. Altura promedio por familia de *Pinus patula* en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Las familias que presentaron mayor valor promedio en altura fueron los individuos de las familias 14, 13, 8, y 2 en éste orden y las familias 12, 7, y 5 el menor valor. La familia 8 presentó el mayor incremento seguido de la familia 13 y 2. El menor incremento fue registrado por la familia 5. El incremento promedio en altura para las 16 familias fue de 43 cm.

En ambos sitios (2300 y 2600 msnm), las familias 8 y 2 se ubicaron entre las primeras cinco posiciones cuyos valores fueron los mas altos en incremento en altura, y las familias 7 y 5 presentaron los valores mas bajos.

## Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en vivero y a un año de plantación

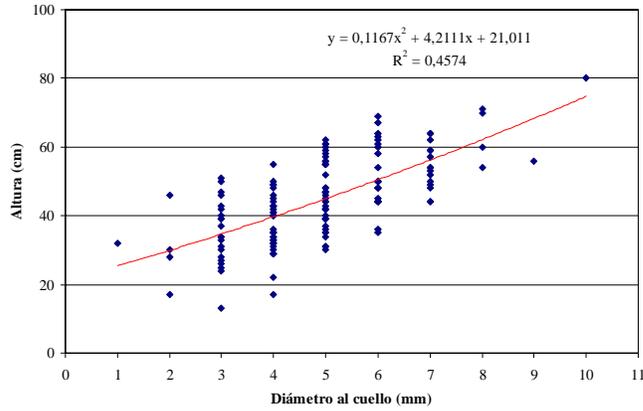


Figura 10. Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus patula* en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica

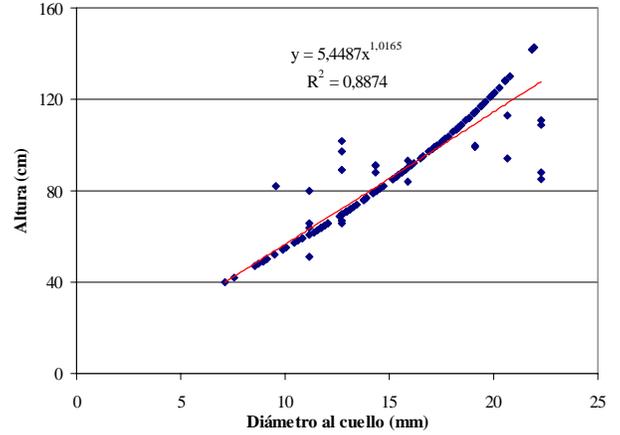


Figura 11. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de *Pinus patula* a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica

En las figuras 10 y 11 se observa que los puntos correspondientes a la relación altura/diámetro al cuello en vivero, se alínean respecto a los valores de diámetro al cuello debido al tipo de redondeo que se utilizó (de 1.0 mm), esto provocó un sesgo en la línea de tendencia. Este problema se minimizó en los datos a un año de plantación, cuya línea de tendencia se ajustó mejor. Sin embargo es de hacer notar que la relación diámetro al cuello/altura al año de plantación fue mucho más fuerte que en vivero, debido a una menor variabilidad en la altura de los arbolitos para cada valor de diámetro al cuello. Posiblemente el nivel de competencia que existía en el vivero a los 13 meses provocó una mayor diferenciación en la altura de las plántulas. Lo que produjo una alta variabilidad en la altura, pero no en su diámetro al cuello.

### Porcentaje de mortalidad en *Pinus patula* a un año de plantación según clase de diámetro al cuello y clase de altura

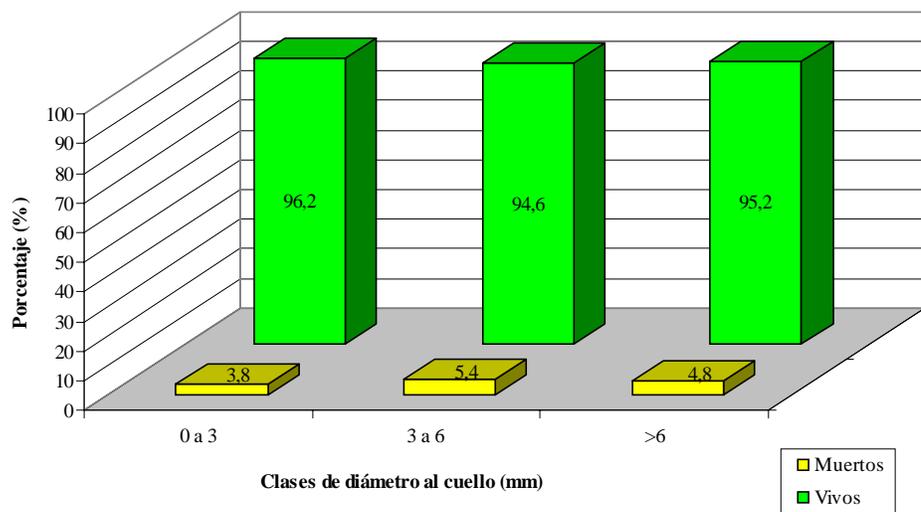


Figura 12. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus patula* a 2600 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero.

El porcentaje de mortalidad al año de plantación en las tres clases de diámetro al cuello fue similar, oscilando entre 3.8 y 5.4%. Aparentemente no existe relación entre mortalidad al año y diámetro al cuello en vivero. Los mayores porcentajes de mortalidad se registraron en las clases de diámetro al cuello de 3 a 6 mm, que representó un 5.4%. Mientras que la clase de diámetro al cuello mayor a 6 mm registró un 4.8%.

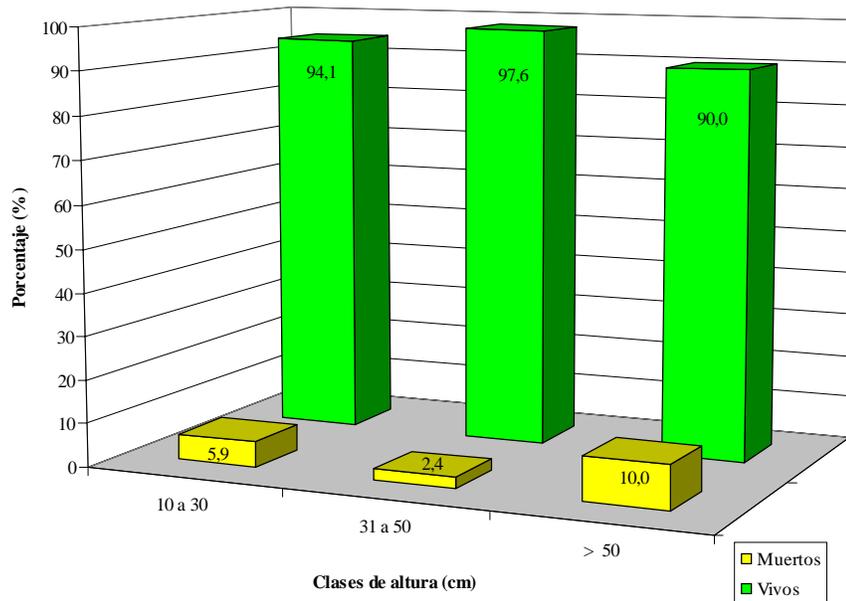


Figura 13. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus patula* a 2600 msnm, según clase de altura en vivero.

Los individuos que se encontraban en la clase > a 50 cm de altura en el vivero, tuvieron el mayor porcentaje de mortalidad en campo ( 10%), seguido por los individuos pertenecientes a la clase 10 a 30 cm con un (5.9%). Los individuos que se encontraban en el vivero entre los 31 a 50 cm de altura fueron los que tuvieron menor mortalidad a un año de plantados (2.4 %).

Estos resultados sugieren que aquellos individuos que en el vivero tuvieron alturas inferiores a 30 cm o superiores a 50 cm, tendrán dificultades de adaptación en campo.

## Análisis estadístico

Cuadro 7. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de *Pinus patula*, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	$X^2_{2GL}$
Clases de diámetro al cuello de 3 mm	0.1031 n.s.
Clases de alturas de 20 cm	3.3056 *

Nota. n.s. diferencias no significativas y \* diferencias significativas al 95%.

El valor de Chi-cuadrado ( $X^2 = 0.1031$ ) para mortalidad al primer año de plantación, según clases de diámetro al cuello en el vivero, indica que no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo la prueba de Chi-cuadrado sí detectó diferencias significativas entre la mortalidad observada al año de plantación según la clase de altura a la que pertenecieron en vivero ( $X^2 = 3.3056$ ).

Cuadro 8. Correlaciones vivero – primer año plantación en los ensayos de *Pinus patula*, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	r
Diámetro al cuello en vivero - diámetro al cuello primer año de plantación	0,3882
Altura primer verticilo vivero - altura primer verticilo a un año de plantación	0,2578
Diámetro al cuello en vivero - altura a un año de plantación	0,3554
Diámetro al cuello en vivero - número de verticilos a un año de plantación	0,2620
Altura en vivero - altura a un año de plantación	0,2987

En el cuadro 8 se observa que los valores obtenidos en las correlaciones no superan el 38 %. Una explicación de esto es que a temprana edad los individuos aun no han logrado adaptarse a su nuevo ambiente. Es posible que a un corto plazo los valores de estas correlaciones sean mayores.

Cuadro 9. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cualitativas a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variables</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Bifurcación	0,81	0,6652 n.s
Estado fitosanitario	2,82	0,0009 ***
Angulo de ramas	1,77	0,0474 *
Rectitud	1,31	0,2064 n.s
Calidad	1,24	0,2519 n.s
Mortalidad	1,01	0,4502 n.s

Nota: \* significativo a un 95%, \*\*\* significativo a un 99.9 % y n.s. no significativo.

El análisis de varianza para las variables cualitativas indica que existen diferencias significativas entre familias respecto al ángulo de ramas y estado fitosanitario, mostrando una tendencia de superioridad de unas familias con respecto de otras. Las demás variables no presentan diferencias significativas entre familias.

Cuadro 10. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cuantitativas a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Diámetro al cuello	1,19	0,2878 n.s
Altura	1,63	0,0768 n.s
Altura primer verticilo	3,51	< 0,0001 ***
Número de verticilos	1,22	0,2690 n.s

Nota: \*\*\* significativo a un 99.9 % y n.s. no significativo.

En el cuadro 10 se puede observar que con respecto a la altura del primer verticilo se obtuvieron diferencias muy altas entre familias. Las demás variables cuantitativas no mostraron prácticamente ninguna diferencia entre las familias estudiadas.

Cuadro 11. Diferencias entre familias de *Pinus patula* en variables cualitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Bifurcación DMS= 0,2874			Rectitud DMS=0,872			Angulo de ramas DMS=0,611			Estado fitosanitario DMS=0,4521			Calidad DMS=0,8068			Mortalidad DMS=0,3707		
X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia
1,11	9	1	2,40	5	8	2,00	9	13	1,70	10	4	2,44	9	5	1,22	9	14
1,11	9	5	2,38	8	16	1,82	11	6	1,67	9	1	2,38	8	16	1,17	6	8
1,11	9	13	2,22	9	5	1,80	10	2	1,38	8	7	2,22	9	1	1,11	9	7
1,00	10	2	2,14	7	14	1,75	8	9	1,36	11	6	2,18	11	6	1,11	9	10
1,00	10	4	2,11	9	1	1,75	8	12	1,25	8	10	2,14	7	14	1,11	9	16
1,00	11	6	2,00	8	7	1,75	8	16	1,25	8	16	2,13	8	9	1,10	10	11
1,00	9	3	2,00	9	15	1,75	8	10	1,20	5	8	2,13	8	10	1,00	9	1
1,00	5	8	2,00	10	2	1,71	7	14	1,14	7	14	1,10	10	4	1,00	9	5
1,00	8	7	2,00	8	9	1,67	9	11	1,11	9	13	2,00	9	3	1,00	8	9
1,00	8	10	2,00	8	10	1,67	9	15	1,11	9	11	2,00	8	7	1,00	10	2
1,00	9	11	2,00	10	4	1,67	9	1	1,00	8	9	2,00	9	11	1,00	9	3
1,00	8	12	1,91	11	6	1,56	9	3	1,00	9	3	2,00	5	8	1,00	10	4
1,00	8	9	1,89	9	11	1,44	9	5	1,00	9	5	2,00	9	15	1,00	9	13
1,00	7	14	1,78	9	3	1,40	10	4	1,00	10	2	1,90	10	2	1,00	11	6
1,00	9	15	1,63	8	12	1,40	5	8	1,00	9	15	1,88	8	12	1,00	9	15
1,00	8	16	1,56	9	13	1,13	8	7	1,00	8	12	1,67	9	13	1,00	8	12

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

(Valores cercanos a 1 son los mejores, ausencia del defecto)

Según el cuadro 11 las familias que ocupan las mejores posiciones en el escalafón (o ranking) al primer año de plantación fueron las familias 13, 12 y 15. Mientras que las familias peor ubicadas fueron la 5, 16, 1. Analizando mortalidad que es también un criterio importante y muestra a las familias 14 y 8 con valores relativamente altos o superiores a un 15 % sugiriendo problemas de adaptación al sitio.

Cuadro 12. Diferencias entre familias de *Pinus patula* en variables cuantitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Diámetro DMS=5,1553			Altura DMS=31,168			HIVerticilo DMS=21,299			No.Verticilos DMS=0,7233		
X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia
18,19	9	13	107,86	7	14	58,00	10	2	3,89	9	3
17,98	7	14	106,78	9	13	56,57	7	14	3,67	9	11
16,47	9	15	100,60	5	8	52,75	8	9	3,44	9	1
16,45	10	2	96,22	9	15	50,80	5	8	3,22	9	13
16,24	5	8	95,70	10	2	46,67	9	15	3,22	9	15
15,42	9	3	85,00	8	9	43,33	9	13	3,00	8	10
15,05	8	9	84,44	9	3	41,78	9	5	3,00	8	12
15,04	8	16	83,67	9	1	41,38	8	16	2,90	10	4
14,83	9	5	83,55	11	6	40,25	8	7	2,86	7	14
14,70	10	4	83,38	8	10	40,00	11	6	2,80	5	8
14,54	9	11	82,33	9	11	39,88	8	10	2,75	8	7
14,49	8	7	79,90	10	4	36,80	10	4	2,75	8	16
14,35	8	10	79,38	8	16	30,78	9	1	2,64	11	6
14,00	11	6	78,89	9	5	28,67	9	11	2,44	9	5
13,94	9	1	78,50	8	7	28,11	9	3	2,20	10	2
13,21	8	12	75,25	8	12	25,88	8	12	2,13	8	9

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Del cuadro 12 se obtiene que las mejores familias según las variables cuantitativas son las familias 13, 2, 15, 14 y 8. Por tanto para el sitio 2600 msnm las familias con las mejores características tanto cualitativas como cuantitativas al primer año fueron 2, 8, 14 y 15.

Algunas familias tales como la 14, 2 y 5 fueron sobresalientes tanto en vivero como al año de plantación, por tanto estas familias son potencialmente adecuadas para realizar plantaciones a mayor escala. También se observa una familia como la 8, que en vivero ocupa lugares inferiores en el escalafón, pero fue sobresaliente al año de plantación. Se estima que estos movimientos dentro el escalafón se irán estabilizando en datos tomados a edades mayores.

Cuadro 13. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cualitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Bifurcación	0,87	0,5953 n.s
Rectitud	4,53	< 0,0001 ***
Calidad	4,56	< 0,0001 ***

Nota: \*\*\* significativo a un 99.9 % y n.s. no significativo.

El análisis de varianza que muestra el cuadro 13 para variables cualitativas en el vivero, indica que en las variables rectitud y calidad existen diferencias significativas entre familias. Estos resultados pueden ser considerados en el proceso de control de calidad en vivero.

Cuadro 14. Análisis de varianza entre familias de *Pinus patula*, para variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Diámetro al cuello	3,05	0,0003 ***
Altura	8,3	< 0,0001 ***
Altura primer verticilo	8,44	< 0,0001 ***
Número de verticilos	4,23	< 0,0001 ***

Nota: \*\*\* significativo a un 99.9 %

Del análisis de varianza de los sitios 2300 y 2600 msnm y su comparación con los resultados del cuadro 13, se puede afirmar que las diferencias entre familias respecto de las variables rectitud y calidad, disminuyen con la edad, por tanto estas variables no sirven aún para predecir el comportamiento de las familias en campo.

Las diferencias significativas entre familias para las variables en diámetro al cuello y altura en vivero pueden ser el resultado del efecto materno o tamaño de semilla. Esas diferencias entre familias van disminuyendo conforme aumenta la edad y el verdadero genotipo inicia su expresión en el campo. Esto se puede notar al comparar las diferencias entre resultados de vivero (cuadro 14) y a un año de plantación (cuadros 10 y 4).

Cuadro 15. Índice de mortalidad por familia para *Pinus patula*, a 2300 msnm y 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Índice de mortalidad <i>Pinus patula</i>				
Familia	Sitio 1 (2300 msnm)		Sitio 2 (2600 msnm)	Familia
1	1,00	↔	1,00	1
10	1,11		1,11	10
14	1,22		1,22	14
6	1,44	>	1,00	6
13	1,44		1,00	13
4	1,33		1,00	4
5	1,33		1,00	5
15	1,33		1,00	15
2	1,22		1,00	2
12	1,22		1,00	12
9	1,13		1,00	9
3	1,11		1,00	3
7	1,44		1,11	7
16	1,44	1,13	16	
8	1,22	<	1,17	8
11	1,00		1,10	11
<b>Promedio</b>	1,25		1,05	

Las familias 1, 11, 3 y 10 fueron consistentes en registrar los porcentajes de mortalidad más bajos en ambos sitios. Estos datos sugieren que estas familias son sumamente estables. Las familias 6, 7, 13 y 16 registraron los mayores porcentajes de mortalidad en el sitio 2300 msnm, pero por el contrario, mostraron bajos valores de mortalidad en el sitio 2600 msnm. Estos resultados pueden deberse a que en el sitio 2300 msnm el control de malezas fue muy deficiente, y pudo inflar los resultados de algunas familias.

La familia 11 fue la única que mostró mayor mortalidad en el sitio 2600 msnm que en el sitio 2300. En general el sitio 2300 msnm presentó los mayores valores de índice de mortalidad, debido a la intensa competencia que han tenido las plántulas con las malezas debido al deshierbe tardío.

Se observó una mayor incidencia de hongos en el sitio 2300, probablemente ocasionado por el efecto de las malezas altas, lo que aumentó la mortalidad de las plántulas.

Cuadro 16. Heredabilidad familiar de *Pinus patula* para las variables cualitativas y cuantitativas a un año de plantación, a 2300 y 2600 msnm en Finca Roblesa, División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variables</b>	<b>Heredabilidad Familiar</b>
<b>Variables cuantitativas</b>	
Diámetro al cuello	0,7922
Altura	0,8269
Altura primer verticilo	0,8757
Número de verticilos	0,7120
<b>Variables cualitativas</b>	
Reiteración	-0,0709
Angulo de ramas	0,2844
Calidad	0,5729
Bifuracación	0,1754

Los valores de heredabilidad para las variables cuantitativas al primer año son altos, lo que implica un control genético considerable. Lo contrario ocurre para las variables cualitativas cuyos valores son bajos. Según Zobel y Talbert (1984) citado por Rojas (1999) los valores de heredabilidad menores a  $h^2 < 0.2$  se consideran como bajos, lo que sugiere que este sitio puede generar ganancias genéticas bajas.

A pesar de su utilidad, debe tomarse en consideración que la heredabilidad no es un valor invariable ligado a una población. La heredabilidad por sí sola es una proporción variable y está sujeta a cambios. (Zobel y Talbert, 1988).

Algunas características, como el peso específico de la madera, parece estar genéticamente controladas sin importar la especie y son uniformes en ambientes un poco distintos. Otras características, como el crecimiento en altura, están bajo un menor grado de control genético y son afectadas notablemente por el ambiente en el cual crecen los árboles. (Zobel y Talbert, 1988).

## CONCLUSIONES

Los valores de las correlaciones entre datos de campo y vivero no superan el 40% en ninguno de los sitios estudiados. Esto confirma que las correlaciones a tempranas edades son bajas y al igual que el análisis de varianza muestran que las variables cualitativas y cuantitativas son aún débiles en la predicción del comportamiento futuro de los individuos en plantación.

Según la prueba Chi - cuadrado el porcentaje de mortalidad en campo no fue significativa respecto de las clases de diámetro al cuello en el vivero y poco significativo en relación a las clases de altura en vivero. Por tanto no es posible predecir mortalidad en campo a partir del diámetro al cuello y altura en vivero.

Existe familias como la 8 que en vivero ocupó lugares inferiores en el escalafón, pero sobresaliente en campo, esto es un indicador que la selección temprana no es posible efectuar a tan temprana edad, sino hasta que se haya expresado completamente el genotipo en el ambiente.

La relación altura – diámetro al cuello fue mayor al año de plantación que en vivero. Esta relación fue afectada por las condiciones del vivero (riego, competencia por luz) lo cual modificó los valores de esta relación, y la permanencia prolongada de las plántulas en vivero.

De manera general la tendencia de crecimiento de las familias fue similar en diámetro al cuello y altura, tanto al año en plantación como la registrada en vivero.

Las familias con las mejores características tanto cuantitativas como cualitativas para el sitio 2300 fueron la 14, 9, 10 y 2.

Para el sitio 2600 las mejores familias en cuanto a características tanto cuantitativas como cualitativas fueron las familias 2, 8,14 y 15.

Las mejores familias en el escalafón para ambos sitios fueron las familias 2, 14, , 8, 9, 13 y 11.

Las familias 14, 2, 9 presentaron de manera general valores sobresalientes tanto en vivero como en campo. Por tanto son familias potencialmente adecuadas para realizar plantaciones a mayor escala y darles prioridad a la hora de realizar la selección temprana.

El sitio 2300 msnm presentó los mayores valores de mortalidad debido al deficiente control de malezas.

A pesar de que ha transcurrido un año de haberse establecido la plantación todavía no se puede hacer una predicción del comportamiento de las familias.

## **RECOMENDACIONES**

Continuar tomando los datos año a año y realizando los mismos análisis para observar el comportamiento de las relaciones juvenil – adulto.

Supervisar para que se realice un adecuado control de malezas en ambos sitios.

Revisar a profundidad la relación altura – diámetro al cuello y su posible utilidad como variable predictora de comportamiento a futuro.

## CAPITULO 2

### SELECCIÓN TEMPRANA EN *Pinus radiata*

#### INTRODUCCIÓN

El Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), está desarrollando ensayos de progenie con *Pinus radiata*, en la Finca Roblesa, ubicada en División de Pérez Zeledón y a su vez realizando evaluaciones del material genético en el vivero forestal del ITCR en Cartago.

Si se desea obtener buenos resultados con especies introducidas, como el *Pinus radiata*, es necesario probar la factibilidad de desarrollo de todo el potencial genético y productivo de esta especie, dependiendo del uso que se le desea dar. Por lo que se debe considerar la elección de las procedencias como algo fundamental y evaluar en vivero el material genético disponible. Esto trae una gran ventaja en los ensayos de progenies y en la investigación de una posible selección temprana a futuro.

Según Zobel & Talbert (1984), una forma de reducir el tiempo de selección de los mejores individuos y las mejores familias de una especie, en los programas de mejoramiento forestal, es hacer las selecciones en las pruebas genéticas mucho antes de que los árboles hayan alcanzado la edad de rotación. Debe existir una alta correlación genética entre la edad de rotación y una etapa más juvenil para que la selección temprana de buenos resultados. Según dicho autor estas correlaciones son consideradas como juvenil-maduro.

Algunos trabajos relacionados con ensayos de 18 a 19 años, donde se midió la altura, el diámetro, volumen y mortalidad, no mostró correlaciones fuertes con las medidas realizadas inicialmente para la selección temprana. (Kleinschmit *et al*, 1996).

El presente estudio muestra resultados sobre las relaciones y correlaciones existentes entre variables cualitativas y cuantitativas por familia de *Pinus radiata* y pretende aportar criterios para una posible selección futura de los mejores árboles desde la etapa de vivero para que luego estos sean llevados al campo, con esto se contribuye a eliminar la posibilidad de tener plantaciones con árboles de baja calidad. Estos ensayos buscan evaluar la calidad genética de los progenitores, determinar los parámetros genéticos como la heredabilidad y establecer nuevas fuentes semilleras.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Contribuir con el Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la definición de posibilidades de realizar selección temprana en *Pinus radiata*.

### **Objetivo Específico**

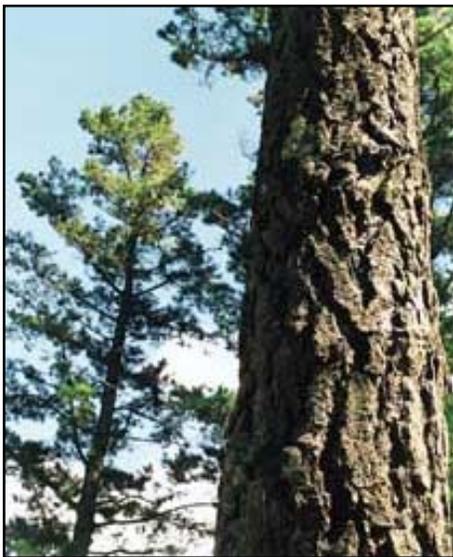
Iniciar un sistema de selección temprana en *Pinus radiata*, basado en la identificación de variables que permitan predecir el comportamiento futuro de los individuos en plantación

## GENERALIDADES DE LA ESPECIE



Arbol con 10 – 20 m de altura. Copa densa, a veces irregular. Ramas extendidas. Las acículas se agrupan predominantemente en fascículos de tres acículas, con 8 –16 cm de largo, color verde-oscuro, un lado plano y la otra convexa. Conos ovoides, se presentan en grupos de 3-5, algo asimétricos de 10-13 cm de largo. (Rodriguez, 1966)

Figura 14. *Pinus radiata*, conos, semilla y acículas.



Los árboles adultos presentan una corteza rugosa y gruesa que puede alcanzar los 8 cm de espesor.

Esta especie no tolera mucho fríos intensos. Requiere precipitaciones entre 400 y 500 mm y hasta 900 mm. Prefiere suelos frescos y bien drenados. En general se desarrolla en una amplia variedad de rocas madre: pizarras, areniscas marinas, areniscas silíceas poco consolidadas, granitos y calizas.

Figura 15. Fuste y corteza de *Pinus radiata*

En condiciones favorables su crecimiento es rápido, por esta razón que tiene una importancia silvícola considerable.



Figura 16. Plantación de *Pinus radiata*

La madera de *Pinus radiata* es fácil de trabajar y presenta condiciones adecuadas para las operaciones de clavado y atornillado. Tiene propiedades favorables frente al cepillado y moldurado, soporta bien el torneado, se mecaniza con facilidad, permite la unión entre piezas sin dificultades y las operaciones de lijado y acabado se realizan sin problemas. Por todo ello, es una madera de buen rendimiento en la mayoría de las transformaciones mecánicas. (Rodrigues, 1988)

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación se inicia en el año 1999 con semillas de 20 familias plus, procedentes del Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Banco de Semillas Forestales (BASFOR), de Cochabamba, Bolivia. El almácigo de esta semilla se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago.

### **VARIABLES EVALUADAS EN VIVERO**

Después de 13 meses de edad en vivero, se registro información de cada plántula donde se evaluaron las siguientes variables: Altura total (cm); diámetro al cuello (mm); bifurcaciones bojo 2 categorías (1= no bifurcado 2=bifurcado); número de verticilos, altura primer verticilo (cm), rectitud del tallo (1=con tallo totalmente recto, 2= tallo con torceduras leves, 3= tallos con torceduras severas y evidentes); estado fitosanitario cuya incidencia y severidad se registró bajo tres categorías: (1= plántula sana sin problemas fitosanitarios visibles y vigorosas; 2= plántula relativamente sana, con alguna evidencia de problemas fitosanitarios pero que no corre riesgo de morir; 3= enferma, plántulas con problemas fitosanitarios que afectan el desarrollo normal de la plántula).

La variable calidad se registró bajo las siguientes categorías, calidad 1= plántula de primera calidad con ausencia total de características indeseables, 2= plántula con presencia de una sola característica indeseable, 3= plántula de mala calidad con presencia de dos o más características indeseables que afectan notoriamente la calidad de la madera y su capacidad de sobrevivencia. (Murillo, 2001)

Todos los individuos de cada familia se identificaron con un número consecutivo, posteriormente se seleccionaron 16 familias y de cada una de ellas se eligió al azar 9 individuos para ser establecidos en cada sitio o bloque en el campo.

### **Localización de las parcelas de ensayo y variables evaluadas a un año de plantación**

Las plantaciones se realizaron en dos parcelas (sitios) como ensayos de progenie: Sitio 1 a 2300 msnm de altitud (Bosque pluvial Montano bajo), Sitio 2 a 2600 msnm de altitud (Bosque pluvial Montano), estas parcelas se ubicaron en Finca Roblesa en División de Pérez Zeledón, Costa Rica. En cada parcela se establecieron 144 individuos distribuidos aleatoriamente en 5 parejas con individuos de las 16 familias, el distanciamiento entre plantas fue de 3 x 3 m.

Después de un año de establecidas estas plantaciones, se realizó una evaluación a cada individuo, considerándose las siguientes variables: altura (cm), diámetro al cuello (mm), bifurcación, altura primer verticilo (cm), número de verticilos, rectitud del fuste, estado fitosanitario, calidad y mortalidad. Las categorías utilizadas para estas variables fueron las mismas que para vivero.

## **Análisis estadístico**

El análisis de las variables se realizó individualmente para cada sitio, los datos fueron procesados en una hoja Excel, efectuando así los respectivos análisis de varianza (ANDEVA), apoyados con el programa SAS (Versión 1998), y las pruebas Chi-cuadrado para determinar posibles diferencias entre familias y sus variables.

Se realizaron pruebas de correlación juvenil-adulto de las variables cuantitativas (diámetro al cuello, altura, altura primer verticilo, número de verticilos) y cualitativas (bifurcación, estado fitosanitario, ángulo de ramas, rectitud, calidad, mortalidad). Las pruebas de correlación cuyos valores fueron menores a los reportados en este documento, no se incluyeron en los cuadros respectivos por ser poco significativos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados Sitio 2300 msnm

#### Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de *Pinus radiata*, en vivero y a un año de plantación

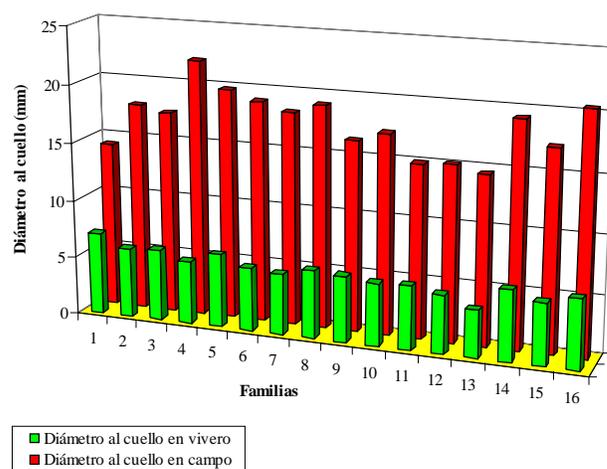


Figura 17. Diámetro al cuello promedio por familia de *Pinus radiata*, en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Con base en la figura 17, el mayor crecimiento al primer año en diámetro al cuello se registró en la familia 4, seguido de las familias 16, 6, 5 y 8. Las familias con menores crecimientos fueron la 1, 11, 12 y 13. La familia 1 pese a registrar el mayor promedio de diámetro al cuello en vivero, en campo presentó los valores mas bajos.

Este comportamiento de ciertas familias indica que no es adecuado hacer selección temprana a esta edad, pues aun su verdadero genotipo no se ha expresado.

El incremento promedio del diámetro al cuello correspondiente a las 16 familias fue de 11.9mm.

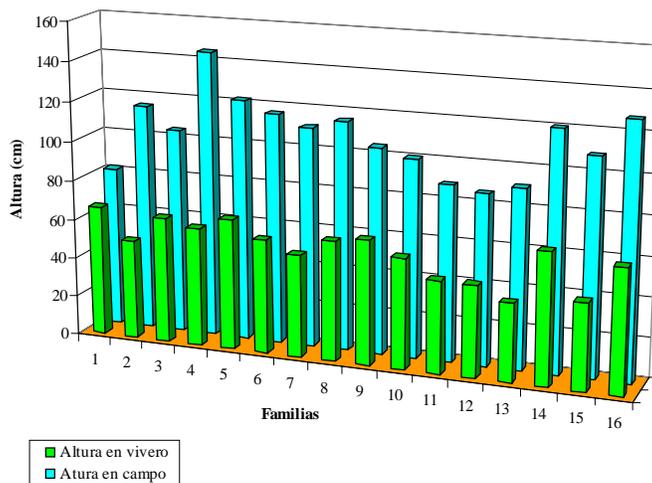


Figura 18. Altura promedio por familia de *Pinus radiata*, en vivero y a un año de plantación a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

La figura 18 muestra que los individuos de las familias 4, 16 y 14 presentaron mayor crecimiento en altura, mientras que las familias 1, 12, y 11 registraron el menor crecimiento. El incremento promedio en altura para todas las familias fue de 51.6 mm.

## Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus radiata* en vivero y a un año de plantación

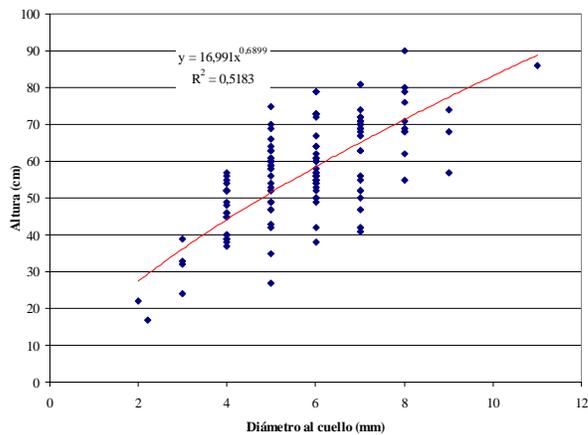


Figura 19. Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus radiata* en el vivero forestal del ITCR, Cartago. Costa Rica.

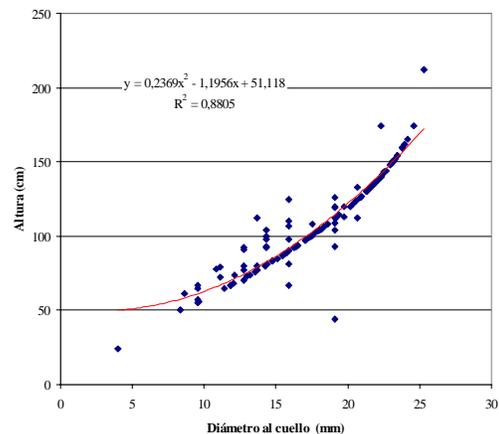


Figura 20. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de *Pinus radiata* en plantación de un año de edad, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

En las figuras 19 y 20 se observa diferencia en el ajuste entre ambas ecuaciones para la relación altura diámetro al cuello en vivero y relación altura diámetro al cuello al primer año de la plantación. Esto es debido principalmente a que durante el proceso de medición de las plántulas con el vernier se incurrió en un error porque, el tallo de las plántulas cedían ante la presión del instrumento, introduciéndose de ésta forma un factor de error en la medición.

**Porcentaje de mortalidad en *Pinus radiata* a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.**

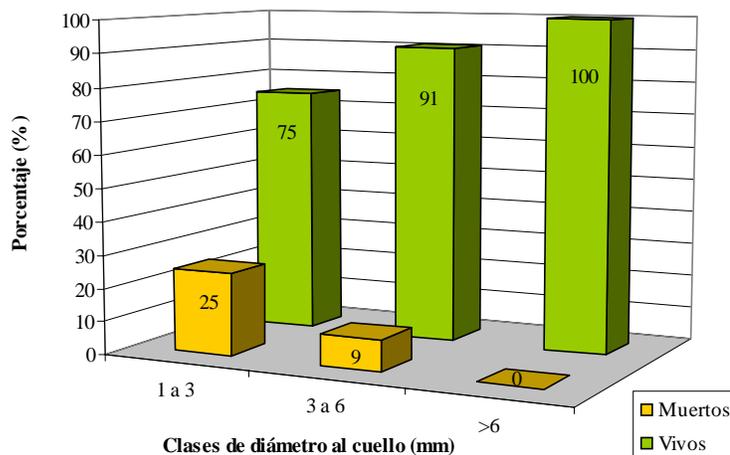


Figura 21. Porcentaje de mortalidad en plantación de un año de edad de *Pinus radiata* a 2300 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero.

El mayor porcentaje de mortalidad se observó en la clase diamétrica de 1 a 3 mm con un 25% de mortalidad y en la clase 3 a 6 mm con un 9%. En la clase de diámetro al cuello superior a 6 mm, el porcentaje de mortalidad fue nulo (0%). En este sitio 2300 msnm, la presencia de malezas hizo que los individuos de diámetro al cuello pequeños experimentaran el mayor porcentaje de mortalidad. Los arbolitos con diámetros al cuello en vivero superiores a 6 mm resistieron mejor a esta adversidad.

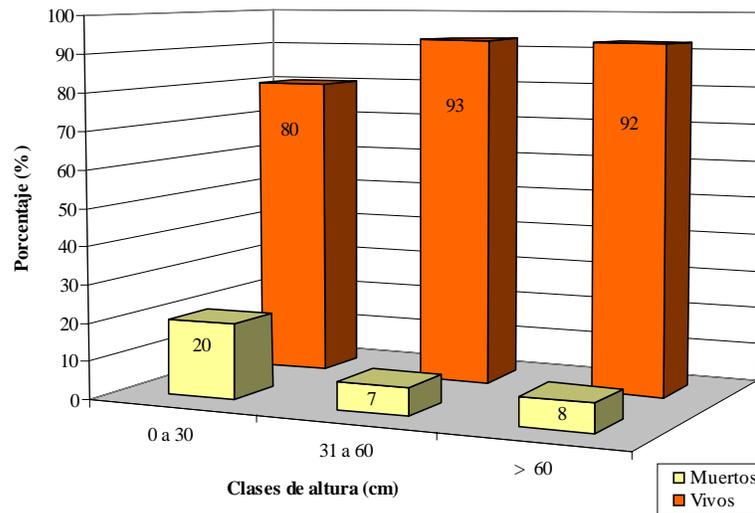


Figura 22. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus radiata*, a 2300 msnm., según clases de altura en vivero.

En la figura 22 se observa que las plántulas que en el vivero correspondían a la clase de altura entre 0 a 30 cm fue la que presentó el mayor porcentaje de mortalidad a un año de plantación (20%), las plántulas que se encuentran entre las clases de altura 31 a 60 cm y más de 60 cm en el vivero presentaron valores de porcentaje de mortalidad del 7 y 8% respectivamente, Sin embargo la diferencia entre estos valores no fue significativa. Se puede afirmar que los individuos con alturas menores a 30 cm en el vivero no son adecuados para la plantación en las condiciones del sitio a 2300 msnm, debido a su menor resistencia a la competencia con malezas y a las inclemencias del sitio.

## Análisis estadístico

Cuadro 17. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de *Pinus radiata*, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	$X^2_{2GL}$
Clases de diámetro al cuello de 3 mm	6.750 *
Clases de alturas de 30 cm	1.070 n.s.

Nota. n.s no significativa \* significativa a 95%.

El valor de Chi-cuadrado ( $X^2 = 6.750$ ) para la mortalidad al primer año en plantación según la clase diamétrica al cuello que tuvo en el vivero indica que se encontraron diferencias poco significativas. Estos resultados sugieren que el diámetro al cuello en vivero, no es un criterio contundente para predecir la mortalidad en plantación. Sin embargo, si es mucho mejor criterio que la altura en vivero.

La prueba de Chi-cuadrado ( $X^2 = 1.070$ ) indica que la diferencia de mortalidad entre las categorías de altura no fue significativa.

Cuadro 18. Correlaciones vivero – primer año de plantación en los ensayos de *Pinus radiata*, a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>VARIABLES</b>	<b>r</b>
Diámetro al cuello en vivero - diámetro al cuello primer año de plantación	0,381952
Altura en vivero - altura primer año de plantación	0,387603
Altura primer verticilo en vivero - altura primer verticilo a un año de plantación	0,388025
Diámetro en vivero - altura primer año de plantación	0,370973
Diámetro en vivero - bifurcación primer año de plantación	0,215368
Altura en vivero - altura al primer verticilo a un año de plantación	0,417524

Los valores obtenidos de las correlaciones vivero – primer año de plantación, muestra que en su mayoría, éstos no superan el 41%. Estos valores de correlación, por lo tanto, deben interpretarse como bajos y de poca utilidad en la predicción del desempeño de los árboles en la plantación.

Cuadro 19. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cualitativas en plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Bifurcación	0,84	0,6344 n.s
Estado fitosanitario	1,20	0,2827 n.s
Angulo de ramas	0,77	0,7067 n.s
Rectitud	1,09	0,3757 n.s
Calidad	0,84	0,6274 n.s
Mortalidad	1,17	0,3000 n.s

Nota: n.s no significativos.

Cuadro 20. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cuantitativas en plantación al primer año a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variable	F	Pv > F
Diámetro al cuello	2,38	0,005 **
Altura	2,55	0,0026 **
Altura primer verticilo	2,32	0,0063 **
Número de verticilos	2,10	0,0143 *

Nota: \* significativos al 95%, \*\* significativo al 99% de probabilidad.

Cuadro 21. Diferencias entre familias de *Pinus radiata* en variables cualitativas en una plantación de 1 año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Bifurcación DMS=0,3399			Rectitud DMS=0,727			Angulo de ramas DMS=0,3133			Estado fitosanitario DMS=1,1092			Calidad DMS=1,0113			Mortalidad DMS=0,4281		
X	N	Familia	X	N	Familia	X	N	Familia	X	N	Familia	X	N	Familia	X	N	Familia
1,14	7	14	2,25	8	8	2,00	7	1	2,56	9	12	2,67	9	12	1,22	9	1
1,14	7	16	2,22	9	5	2,00	7	14	2,44	9	11	2,57	7	1	1,22	9	14
1,11	9	5	2,22	9	11	2,00	9	3	2,43	7	1	2,57	7	13	1,22	9	13
1,11	9	3	2,22	9	6	2,00	7	4	2,43	7	14	2,57	7	14	1,22	9	4
1,00	7	1	2,22	9	12	2,00	9	5	2,43	7	13	2,44	9	3	1,11	9	7
1,00	8	2	2,14	7	14	2,00	8	8	2,33	9	15	2,44	9	15	1,11	9	2
1,00	8	7	2,11	9	3	2,00	8	7	2,33	9	3	2,44	9	5	1,11	9	9
1,00	7	4	2,11	9	10	2,00	8	12	2,14	7	16	2,43	7	16	1,00	8	8
1,00	8	9	2,00	7	1	2,00	7	9	2,13	8	9	2,33	9	6	1,00	9	3
1,00	9	10	2,00	7	9	2,00	7	16	2,11	9	10	2,33	9	11	1,00	9	10
1,00	9	11	2,00	8	7	2,00	9	11	2,11	9	6	2,25	8	2	1,00	9	11
1,00	9	12	2,00	7	16	2,00	6	13	2,00	9	5	2,25	8	8	1,00	9	12
1,00	7	13	2,00	7	13	2,00	9	15	2,00	8	7	2,25	8	9	1,00	9	5
1,00	9	6	1,89	9	15	1,89	9	10	1,88	8	8	2,25	8	7	1,00	9	6
1,00	9	15	1,88	8	2	1,89	9	6	1,75	8	2	2,22	9	10	1,00	9	15
1,00	8	8	1,71	7	4	1,88	8	2	1,71	7	4	2,00	7	4	1,00	7	16

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Valores cercanos a 1 son los mejores (ausencia de defecto)

Del análisis del escalafón para las variables cualitativas se determinó que las familias que se encuentran entre los primeras cinco mejores posiciones, considerando todas las variables son: la familia 2, 4, 7, 10 y la familia 6.

Cuadro 22. Diferencias entre familias de *Pinus radiata*, en variables cuantitativas en una plantación de un año de edad a 2300 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Diámetro DMS=1.4326			Altura DMS=34.428			HIVerticilo DMS=21.748			No.Verticilos DMS= 1.1319		
X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia
6,56	7	4	144,86	7	4	82,00	9	5	2,714	7	4
5,98	4	16	127,71	7	16	81,00	8	2	2,667	9	10
5,78	9	5	122,00	9	5	79,00	7	4	2,286	7	14
5,72	7	14	120,86	7	14	74,38	8	8	2,286	7	16
5,67	9	6	116,56	9	6	74,00	7	14	2,125	8	7
5,66	8	8	115,75	8	8	72,75	8	9	2,111	9	3
5,44	8	7	114,88	8	2	71,56	9	6	2,111	9	6
5,37	8	2	111,25	8	7	69,25	8	7	2,000	9	11
5,24	9	10	109,11	9	15	68,43	7	16	2,000	9	15
5,24	9	3	104,33	9	3	68,33	9	3	2,000	8	8
5,04	9	15	103,63	8	9	63,57	7	13	1,750	8	9
4,97	8	9	100,11	9	10	61,44	9	15	1,444	9	5
4,47	9	12	90,71	7	13	59,00	9	10	1,444	9	12
4,43	9	11	88,22	9	11	58,89	9	12	1,429	7	1
4,36	7	13	86,22	9	12	50,78	9	11	1,250	8	2
3,93	7	1	76,00	7	1	50,43	7	1	1,143	7	13

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Las familias que se ubican entre las mejores 5 familias, respecto del escalafón de las variables cuantitativas son: las familias 5, 4, 14, 2 y 6.

Los análisis de varianza presentados en los cuadros 19 y 20, indican diferencias significativas entre familias de *Pinus radiata* en todas las variables cuantitativas analizadas. Estos resultados predicen la posibilidad de lograr avances importantes en cuanto a volumen mediante la selección de las mejores familias (cuadro 22) como fuentes semilleras.

Con respecto a las variables de calidad, aparentemente no se tiene aún a esta edad diferencias importantes entre familias (cuadro 21). Es probable que a mayor edad se expresen defectos importantes y entonces se logre identificar las mejores familias en aspectos cualitativos. Sin embargo de manera preliminar estas familias sobresalientes están identificadas como resultado del análisis del escalafón para variables cuantitativas y cualitativas arriba descritas.

En caso de persistir diferencias débiles entre familias para las variables cualitativas, se podría pensar a futuro basar la selección en árboles individuales superiores y no en familia.

## Resultados Sitio 2600 msnm

### Promedio de crecimiento del diámetro al cuello y altura de *Pinus radiata* en vivero y a un año de plantación

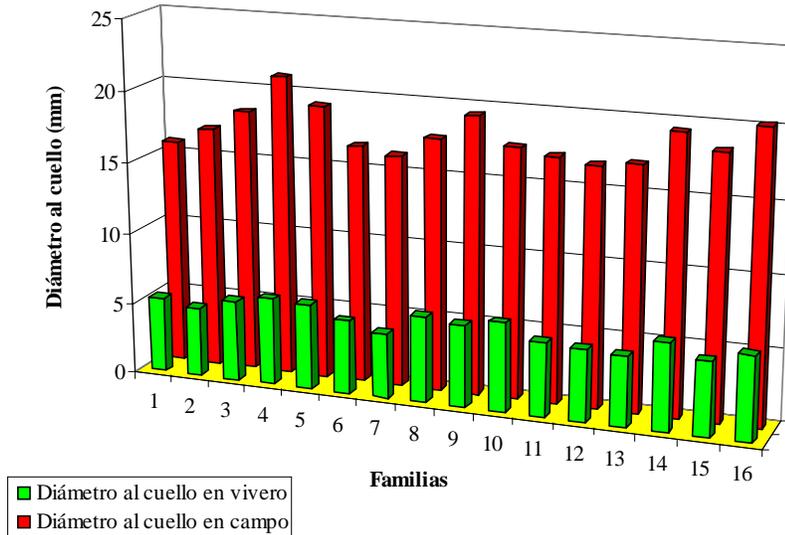


Figura 23. Diámetro al cuello promedio por familia de *Pinus radiata*, en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Como se muestra en la figura 23, el mayor incremento al primer año en diámetro al cuello se registró en la familia 4, seguido de las familias 16, 9 y 3. Las familias con menores incrementos fueron la 1, 12, 8, 7, y 11.

En este sitio el incremento promedio en diámetro al cuello para las familias fue de 13 mm, siendo este incremento mayor al registrado en el sitio 2300 msnm

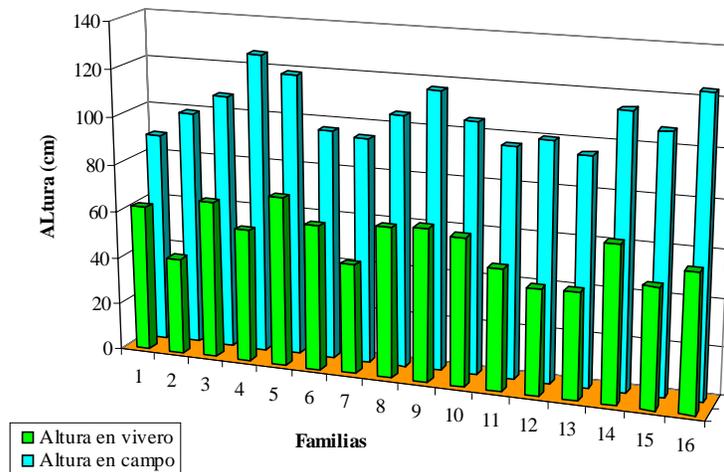


Figura 24. Altura promedio por familia de *Pinus radiata* en vivero y a un año de plantación a 2600 msnm  
División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

De los 144 individuos a 2600 msnm pertenecientes a 16 familias, los que presentaron mayor incremento en altura fueron los individuos de la familia 4, seguido por las familias 16 y 2. Mientras que las familias con menores incrementos en altura al primer año fueron 1, 8, 6 y 10.

El incremento promedio en altura para las familias de este sitio fue de 52 cm, mostrando mayor incremento que el sitio 2300 msnm

Comparando los incrementos registrados tanto para diámetro al cuello como para altura en los sitios 2300 y 2600 msnm se afirma que el sitio 2600 msnm es el que brinda mejores condiciones medioambientales para el desarrollo del *Pinus radiata*.

## Relación diámetro al cuello/altura de *Pinus radiata* en vivero y a un año de plantación

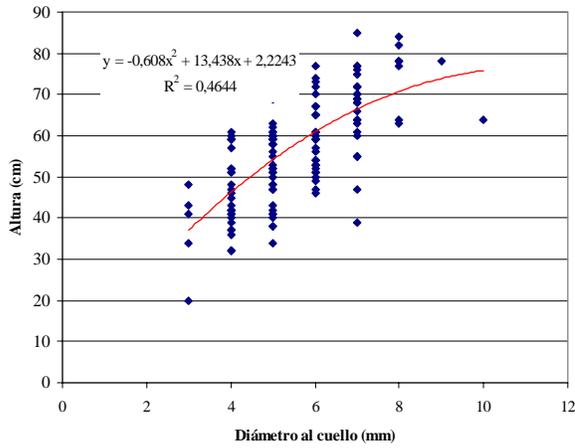


Figura 25. Relación diámetro al cuello y altura de *Pinus radiata* en el vivero forestal del ITCR, Cartago, Costa Rica.

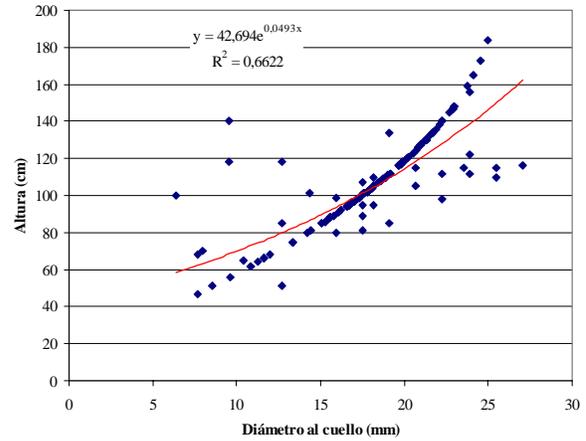


Figura 26. Relación diámetro al cuello y altura en individuos de *Pinus radiata* en plantación de un año de edad, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

En las figuras 25 y 26 se puede observar, la diferencia que existe en los ajustes de las ecuaciones de regresión para la relación diámetro al cuello altura en vivero, y al primer año en la plantación. En los datos de vivero la ecuación de la curva puede contener un sesgo debido al redondeo que se realizó al momento de realizar la medición del diámetro al cuello el vivero (el redondeo fue al milímetro). Otra explicación es que en vivero las condiciones de competencia dentro del bancal y la sensibilidad mayor de las plántulas a los cambios de luz, pueden producir un sesgo en la relación altura – diámetro, y por tanto un menor ajuste en la ecuación.

**Porcentaje de mortalidad en *Pinus radiata* a un año de plantación, según clase de diámetro al cuello y clase de altura.**

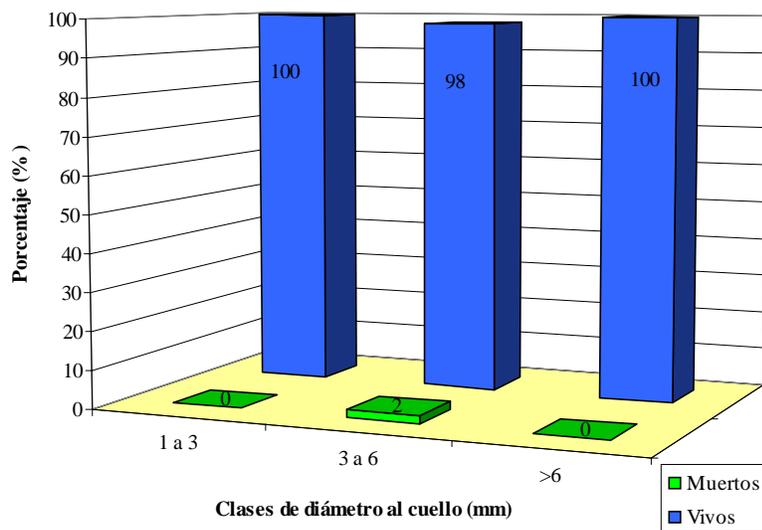


Figura 27. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus radiata* a 2600 msnm, según clases de diámetro al cuello en vivero.

En la figura 27 se observa que en el sitio 2600 msnm, la mortalidad al primer año según el diámetro al cuello en vivero (de 0 a 3 y superiores a 6 mm) fue prácticamente nula (0%). Mientras que las plántulas que tenían en vivero de 3 a 6 mm de diámetro al cuello, fue la que presentó mayor mortalidad al año, pero aún sigue siendo muy baja (2%). Estos valores sugieren que no existe una relación directa entre el diámetro al cuello en vivero y mortalidad al primer año con esta especie a 2600 msnm

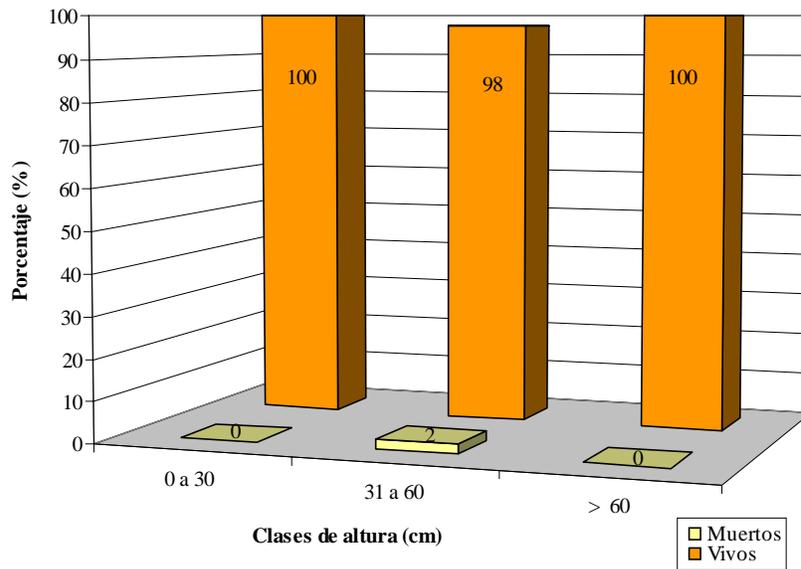


Figura 28. Porcentaje de mortalidad en una plantación de un año de edad de *Pinus radiata* a 2600 msnm, según clase de altura en vivero.

Para el sitio 2600 msnm el porcentaje de mortalidad al primer año de plantación en relación con la clase de altura fue baja. Por ejemplo en las clases de 0 a 30 cm y superiores a 60 cm no presentaron mortalidad (0%). Mientras que los de la clase de altura de 31 a 60 cm fue mínima (2%). Lo que sugiere que la altura en vivero no tuvo una relación directa con la mortalidad al primer año en campo. Puede afirmarse también que para este periodo de crecimiento las condiciones de sitio fueron favorables para esta especie.

## Análisis estadístico

Cuadro 23. Prueba de Chi-cuadrado para porcentaje de mortalidad al primer año en relación con la clase de diámetro al cuello y altura en vivero, para familias de *Pinus radiata*, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	$\chi^2_{2GL}$
Clases de diámetro al cuello de 3 mm	0.790 n.s.
Clases de alturas de 30 cm	1.218 n.s.

Nota. n.s. no significativas

El valor de Chi-cuadrado ( $X^2= 0.790$ ) para el porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, según la clase de diámetro al cuello en vivero, indica que no se encontraron diferencias significativas entre familias

La prueba de Chi-cuadrado ( $X^2=1.218$ ) para el porcentaje de mortalidad al primer año de plantación, según clase de altura, indica que no se encontraron diferencias significativas.

Estos resultados sugieren que ambas variables son débiles para predecir la mortalidad en campo. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que esta especie presenta por lo general una muy baja mortalidad en campo. Por lo tanto, no se puede concluir con base en estos resultados, sobre la idoneidad de estas variables como predictoras de mortalidad.

Cuadro 24. Correlaciones vivero – primer año plantación en los ensayos de *Pinus radiata*, a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>VARIABLES</b>	<b>r</b>
Diámetro al cuello en vivero - altura primer año de plantación	0,4573
Diámetro al cuello en vivero - altura al primer verticilo a un año de plantación	0,3085
Altura en vivero - altura primer año de plantación	0,3516
Altura en vivero - altura al primer verticilo a un año de plantación	0,2898
Diámetro al cuello en vivero - diámetro al cuello primer año de plantación	0,3659
Altura primer verticilo en vivero - altura primer verticilo al primer año de plantación	0,2878

Los valores obtenidos de las correlaciones entre variables de datos a un año de plantación y vivero muestran que, en su mayoría estos no superan el 45%, por tanto, no se establece ninguna relación entre su estado juvenil y a un año de plantación que permita predecir su comportamiento en plantación.

Cuadro 25. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cualitativas en plantación al primer año a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Bifurcación	1,04	0,4224 n.s
Estado fitosanitario	1,58	0,0889 n.s
Angulo de ramas	0,96	0,5035 n.s
Rectitud	1,64	0,0724 n.s
Calidad	1,36	0,1752 n.s
Mortalidad	1,03	0,4288 n.s

Nota: n.s no significativas

Cuadro 26. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cuantitativas en plantación al primer año a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variable	F	Pv > F
Diámetro al cuello	1,01	0,4462 n.s
Altura	1,95	0,0250 *
Altura primer verticilo	1,54	0,1023 n.s
Número de verticilos	1,10	0,3668 n.s

Nota: \* significativos a un 95% de probabilidad, n.s no significativos

La variable altura es la única que presenta diferencias significativas entre familias, esto es un buen indicador si a futuro estas diferencias se acentúan.

Cuadro 27. Diferencias entre familias de *Pinus radiata* para variables cualitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Reiteración DMS=0,2651			Bifurcación DMS=0,6893			Rectitud DMS=0,8448			Angulo de ramas DMS=1,1188			Estado fitosanitario MDS=0,5828			Calidad MDS=1,0842			Mortalidad MDS=0,2433		
X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia	X̄	N	Familia
1,25	8	12	1,50	6	1	2,11	9	9	1,78	9	15	1,50	6	1	2,45	11	10	1,14	7	1
1,14	7	1	1,33	9	15	2,00	9	7	1,78	9	6	1,50	8	14	2,33	9	9	1,13	8	12
1,10	10	11	1,33	9	5	2,00	9	5	1,67	6	1	1,44	9	15	2,33	9	5	1,11	9	3
1,10	10	8	1,25	8	2	1,91	11	10	1,64	11	10	1,44	9	9	2,29	7	1	1,00	8	2
1,00	9	5	1,25	8	14	1,88	8	3	1,63	8	14	1,40	10	8	2,11	9	6	1,00	9	5
1,00	8	2	1,25	8	3	1,78	9	6	1,60	10	11	1,33	9	6	2,11	9	15	1,00	9	6
1,00	9	7	1,25	8	13	1,64	11	16	1,44	9	9	1,30	10	11	2,00	8	14	1,00	9	7
1,00	9	6	1,22	9	6	1,57	7	12	1,43	7	12	1,29	7	12	2,00	9	3	1,00	10	8
1,00	9	9	1,20	10	11	1,56	9	15	1,40	10	8	1,27	11	16	2,00	10	11	1,00	9	9
1,00	11	10	1,18	11	10	1,56	9	4	1,38	8	3	1,22	9	4	2,00	9	7	1,00	11	10
1,00	9	3	1,11	9	9	1,50	8	2	1,36	11	16	1,18	11	10	1,88	8	2	1,00	10	11
1,00	9	4	1,11	9	7	1,40	10	11	1,33	9	5	1,13	8	3	1,75	8	13	1,00	9	4
1,00	8	13	1,00	9	4	1,40	10	8	1,33	9	7	1,00	9	5	1,70	10	8	1,00	8	13
1,00	8	14	1,00	10	8	1,38	8	14	1,25	8	13	1,00	8	13	1,67	9	4	1,00	8	14
1,00	9	15	1,00	7	12	1,33	6	1	1,13	8	2	1,00	9	7	1,64	11	16	1,00	9	15
1,00	11	16	1,00	11	16	1,25	8	13	1,11	9	4	1,00	8	2	1,50	8	12	1,00	11	16

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Valores cercanos a 1 son los mejores (ausencia de defecto)

En el cuadro 27 puede observarse que las familias que se hallan entre las mejores 5 posiciones en el escalafón (o ranking) para las variables cualitativas son las familias 4, 16, 13 seguidas de las familias 2 y 7.

Cuadro 28. Diferencias entre familias de *Pinus radiata*, en variables cuantitativas en plantación de 1 año de edad a 2600 msnm en División de Pérez Zeledón, Costa Rica

Diámetro DMS=2,004			Altura DMS=43,33			H1Verticilo DMS=15,933			No.Verticilos DMS=1,1549		
$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia	$\bar{X}$	N	Familia
6,19	9	4	126,00	9	4	86,67	9	5	4,82	11	16
6,09	11	16	123,73	11	16	78,00	9	9	2,78	9	15
5,74	9	9	118,78	9	5	77,63	8	14	2,56	9	4
5,73	8	14	116,67	9	9	72,91	11	16	2,33	9	7
5,65	9	5	114,63	8	14	71,70	10	8	2,13	8	14
5,45	8	3	107,63	8	3	71,46	11	10	1,82	11	10
5,40	9	15	107,44	9	15	71,25	8	3	1,78	9	9
5,30	10	8	105,40	10	8	70,71	7	12	1,75	8	6
5,20	11	10	105,18	11	10	70,22	9	4	1,67	6	1
5,06	7	12	100,14	7	12	66,88	8	2	1,63	8	3
5,05	8	2	99,13	8	2	66,43	7	13	1,63	8	2
5,05	10	11	96,60	10	11	65,80	10	11	1,60	10	8
4,98	8	6	96,38	8	6	61,22	9	15	1,57	7	13
4,85	9	7	94,56	9	7	59,50	8	6	1,50	10	11
4,82	7	13	92,86	7	13	58,22	9	7	1,43	7	12
4,76	6	1	85,33	6	1	56,00	6	1	1,11	9	5

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

En el escalafón para las variables cuantitativas se encuentran entre las mejores cinco posiciones, la familia 5, seguida de las familias 9, 14 y 16. La familia 4 es sobresaliente respecto de las variables altura y diámetro al cuello.

Cuadro 29. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cualitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Variable	F	Pv > F
Bifurcación	0,81	0,7035 n.s
Estado fitosanitario	1,12	0,3163 n.s
Rectitud	12,78	<0,0001 ***
Calidad	7,43	< 0,0001 ***

Nota: \*\*\* significativos a un 99,9% de probabilidad, n.s no significativos.

Cuadro 30. Análisis de varianza entre familias de *Pinus radiata*, para variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Diámetro al cuello	11,81	< 0,0001 ***
Altura	63,36	< 0,0001 ***
Altura primer verticilo	54,53	< 0,0001 ***
Número de verticilos	1,480	0,0890 n.s

Nota: \*\*\* significativos a un 99,9% de probabilidad, n.s no significativos.

Las variables cualitativas que mostraron diferencias significativas entre familias en el vivero (cuadro 29), indican una buena posibilidad como criterios de control de calidad en vivero. Pero no parece que sean aún de utilidad en la predicción de la calidad a futuro en la plantación (cuadro 25 y 27). Solamente con datos de mayor edad en plantación podrá resolverse esta pregunta en forma apropiada.

Las diferencias significativas entre familias en diámetro al cuello y altura (cuadro 30), son un reflejo del llamado efecto materno o tamaño de semilla. Esas diferencias entre familias van disminuyendo conforme aumenta la edad y el verdadero genotipo inicia su expresión en el campo. Puede fácilmente notarse al comparar (cuadro 30) las diferencias, ya mucho menores, entre familias a la edad del vivero versus al año de plantación (cuadro 26).

De la comparación de los escalafones para los sitios 2300 y 2600 msnm se determinó que las familias mas sobresalientes para ambos sitios son las familias 4, 5 y 16, esto considerando tanto variables cuantitativas como cualitativas, la familia 4 se destaca en cuanto a las variables altura y diámetro al cuello, aunque registra una mayor mortalidad en el sitio 2300 msnm

Cuadro 31. Índice de mortalidad por familia para *Pinus radiata* a 2300 msnm y 2600 msnm, en División de Pérez Zeledón, Costa Rica.

Familia	Índice de mortalidad <i>Pinus radiata</i>		Familia
	Sitio 1	Sitio 2	
	( 2300 msnm)	(2600 msnm)	
5	1,00	1,00	5
6	1,00	1,00	6
8	1,00	1,00	8
10	1,00	1,00	10
11	1,00	1,00	11
15	1,00	1,00	15
16	1,00	1,00	16
4	1,22	1,00	4
13	1,22	1,00	13
14	1,22	1,00	14
9	1,11	1,00	9
2	1,11	1,00	2
7	1,11	1,00	7
1	1,22	1,14	1
3	1,00	1,11	3
12	1,00	1,13	12
<b>Promedio</b>	<b>1,08</b>	<b>1,02</b>	

Para las familias 5, 6, 8, 10, 11, 15 y 16 no se reportó mortalidad en ambos sitios, por tanto estas familias muestran estabilidad y buena adaptación en plantación. Las familias 4, 13, 14, 9, 2 y 7 registran mayor mortalidad en el sitio 2600 msnm

Cuadro 32. Heredabilidad familiar para las variables cuantitativas y cualitativas a un año de plantación para *Pinus radiata*, a 2300 y 2600 msnm Finca Roblesa, División de Pérez Zeledón

<b>Variables</b>	<b>Heredabilidad Familiar</b>
<b>Variables cuantitativas</b>	
Diámetro	0,6866
Altura	0,8544
Altura primer verticilo	0,7833
Número de verticilos	0,7330
<b>Variables cualitativas</b>	
Reiteración	-0,0077
Rectitud	0,3070
Estado fitosanitario	0,7218
Calidad	0,2594

Los valores de heredabilidad al primer año son altos, lo cual significa que las variables cuantitativas tienen un control genético considerable. Sin embargo no debe olvidarse que la heredabilidad cambia con el tiempo y por tanto también lo harán sus valores.

## CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de las correlaciones entre variables de datos de campo y vivero muestra que no es posible establecer una relación entre su estado juvenil y a un año de plantación, que permita predecir su comportamiento futuro en plantación.

Del análisis de varianza se concluye, que las variables cualitativas (rectitud y calidad) que mostraron diferencias significativas entre familias en el vivero, pueden constituirse en criterios de control de calidad en vivero.

Las diferencias significativas entre familias en diámetro al cuello y altura en vivero, son un reflejo del llamado efecto materno o tamaño de semilla. Esas diferencias entre familias van disminuyendo conforme aumenta la edad y el verdadero genotipo inicia su expresión en el campo.

De manera preliminar, las variables diámetro al cuello y altura son débiles para predecir la mortalidad en campo.

En caso de persistir diferencias débiles entre familias para las variables cualitativas, se podría pensar a futuro basar la selección en árboles individuales superiores y no en familia.

De la comparación de los escalafones para los sitios 2300 y 2600 msnm se determinó que las familias más sobresalientes en *Pinus radiata* para ambos sitios evaluados son las familias 4, 5 y 16, esto considerando tanto variables cuantitativas como cualitativas

Los valores de heredabilidad al primer año son altos, lo cual significa que las variables cuantitativas tienen un control genético considerable

## **RECOMENDACIONES**

Procurar que las plántulas no permanezcan mucho tiempo en vivero para evitar que éstas sean sometidas a niveles fuertes de competencia.

Implementar nuevas parcelas de ensayo con el objetivo de ampliar los datos de campo y evaluar la respuesta de estas familias a nuevas condiciones ambientales.

Supervisar para que se realice un adecuado control de malezas en las parcelas de ensayo.

Continuar con la toma de datos de estas parcelas de forma periódica.

## CAPITULO 3

### SELECCIÓN TEMPRANA EN *Eucalyptus globulus*

#### INTRODUCCIÓN

Actualmente los *Eucalyptus spp* han incrementado su importancia en la producción de madera, pulpa para papel en el mundo, distinguiéndose como uno de los cultivos forestales más productivos (Durand-Creswell *et al.*, 1982). Murillo, en su artículo indica que en Costa Rica los *Eucalyptus spp* fueron introducidos por el Estado desde los años sesenta, con el fin de reforestar cuencas hidrográficas, zonas afectadas por erupciones volcánicas y en los alrededores de los embalses de proyectos hidroeléctricos. El CATIE y la Dirección General Forestal (primer Servicio Forestal Costarricense), introducen en los años setenta, varias especies de *Eucalyptus spp* a través del establecimiento de parcelas permanentes y algunos ensayos de procedencias a lo largo del país (Martinez, 1981; Camacho, 1981).

La presión que la población ejerce sobre los recursos naturales y en especial sobre los que brinda el bosque, plantea la urgente necesidad de ampliar zonas en las que se cultiven especies que proporcionen en poco tiempo madera y otros productos, de manera que contribuyan a disminuir esta presión sobre los bosques naturales.

Actualmente se ve la necesidad de reforestar zonas altas con elevadas precipitaciones, principalmente en las cordilleras volcánicas de Costa Rica. Los primeros resultados de los ensayos de selección de especies/progenies realizados por el Programa de Mejoramiento Genético Forestal del ITCR-FUNDECOR, registran un alto potencial para el *Eucalyptus globulus*, en estas zonas. (Murillo, *et al.*, 2001).

Para lograr que estas plantaciones sean de calidad, estas investigaciones son enriquecidas con información del material utilizado en estos proyectos. Se busca también determinar si dentro de las familias incorporadas en el proyecto, algunas provienen de familias con caracteres indeseables o defectuosos, que pudieran ser heredados a su progenie. La selección temprana nos lleva a detectar éstas familias evitando así utilizar material indeseable en plantación.

La selección realizada a una edad temprana con la perspectiva de mejorar el rendimiento a la edad de rotación es una forma de selección directa o selección de una característica (el rendimiento a una edad juvenil) para mejorar otra característica (el rendimiento a una edad madura) (Falconer 1981).

Las selecciones para la siguiente generación de mejoramiento suelen efectuarse en las primeras etapas de las pruebas genéticas, mucho antes de la edad de rotación. La selección en las primeras etapas (edades) disminuye el intervalo de generación y compensa las correlaciones imperfectas juvenil-madurez, aumentando así al máximo la ganancia genética por unidad de tiempo. (Zobel y Talbert, 1984)

Es por esto que el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético del Instituto Tecnológico de Costa Rica, esta impulsando investigaciones con *Eucalyptus globulus* para determinar su comportamiento y avalar la calidad genética de los progenitores.

En el presente estudio, se presenta aspectos metodológicos iniciales en cuanto a selección temprana, así como resultados preliminares de los ensayos de campo.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Contribuir con el Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la definición de posibilidades de realizar selección temprana en *Eucalyptus globulus*.

### Objetivo Específico

Iniciar un sistema de selección temprana en *Eucalyptus globulus*, basado en la identificación de variables que permitan predecir el comportamiento futuro de los individuos en plantación.

## GENERALIDADES DE LA ESPECIE



Arbol de gran porte, que alcanza a más de 30-40m de altura,. Las hojas juveniles sésiles, acorazonadas dispuestas sobre ramitas cuadrangulares, las hojas adultas son lanceoladas, de color verde oscuro, de 10-20 cm de largo, lustrosas y brillantes, provistas de numerosas glándulas de aceite esencial. Flores blancas, grandes axilares, las semillas fértiles son negras, angulosas, de 2-2.5 mm de diámetro; las estériles, de color castaño, y muy angostas. El tronco, grueso frecuentemente torcido, está cubierto por una corteza gris o pardo grisáceo que se desprende en grandes tiras retorcidas y se mantienen colgando en el árbol (Manfieri, Dimitri, 1992)

Figura 29. Plántula de *Eucalyptus globulus*

Originaria del sur del continente Australiano, (Tasmania) extendiéndose en altitudes de 400 a 500 metros sobre el nivel del mar. (Manfieri, Dimitri, 1992).



Figura 30. Detalle de la flor. de *Eucalyptus globulus*

En Bolivia el *Eucalyptus globulus* se distribuye hasta los 3600 msnm y adulto soporta temperaturas de hasta 3° C.

Requiere de una precipitación anual de 600 – 1100 mm y con nevadas ocasionales (Hillis, 1984). Son muy sensibles a las heladas las plantas más jóvenes. La resistencia a las heladas aumenta al alcanzar los dos o tres años de edad.

Tiene preferencia por los suelos silíceos frescos y profundos, ni sueltos ni compacto; puede tolerar un subsuelo de carácter arcilloso, pero que tenga siempre buen drenaje. (Manfieri, Dimitri, 1992). Es una especie que se ha extendido por casi todo el mundo, debido a la



Figura 31. Fruto de *Eucalyptus globulus*

rapidez de crecimiento y por ser de gran utilidad industrial. Es especialmente relevante la utilización de Eucalipto en la fabricación de pasta papelera de fibra corta. Contienen abundantes aceites esenciales, usados en la industria química, farmacéutica y en confitería, este aprovechamiento resulta económicamente rentable.

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación se inicio en el año 2001, con el almácigo de semillas procedentes de 20 familias plus, del Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Banco de Semillas Forestales (BASFOR), de Cochabamba, Bolivia. Este ensayo se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago.

### **Descripción de las variables evaluadas en vivero**

Se registro información de cada plántula donde se evaluaron las siguientes variables: Altura total (cm); diámetro al cuello (mm); rectitud del tallo (1 = con tallo totalmente recto, 2 = tallo con torceduras leves, 3= tallos con torceduras severas y evidentes); estado fitosanitario cuya incidencia y severidad se registró bajo tres categorías: (1= plántula sana sin problemas fitosanitarios visibles, de buen color y vigor; 2 = plántula relativamente sana, con alguna evidencia de problemas fitosanitarios pero que no corre riesgo de morir; 3 = enferma, plántulas con problemas fitosanitarios que afectan el desarrollo normal de la plántula. (Murillo *et al.*, 2001)

Se identificaron con un número consecutivo todas las familias y los individuos de cada familia, posteriormente se seleccionaron 14 familias y de cada una se eligieron al azar individuos para ser establecidos en el campo.

### **Localización de la parcela de ensayo y variables evaluadas a tres meses de plantación**

Las plantaciones se realizaron en una parcela (sitio) como ensayo de progenie. El sitio se ubicó a 1800 msnm de altitud (Bosque muy Húmedo Montano bajo), en la Finca de familia Chaverri, en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica. En la parcela se estableció 144 individuos distribuidos aleatoriamente en parejas, los individuos de las 14 familias fueron plantados con un distanciamiento de 3 x 3 m.

Después de tres meses de establecidas estas plantaciones, se realizó una evaluación a cada individuo, considerándose solamente la variable altura (cm).

### **Análisis estadístico**

El análisis de las variables se realizó individualmente para el vivero y la parcela en campo. Los datos fueron procesados en una hoja Excel, efectuando así los respectivos análisis de varianza (ANDEVA), apoyados con el programa SAS (Versión 1998), para determinar posibles diferencias entre familias y sus variables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura promedio por familia, en vivero y a tres meses de plantación

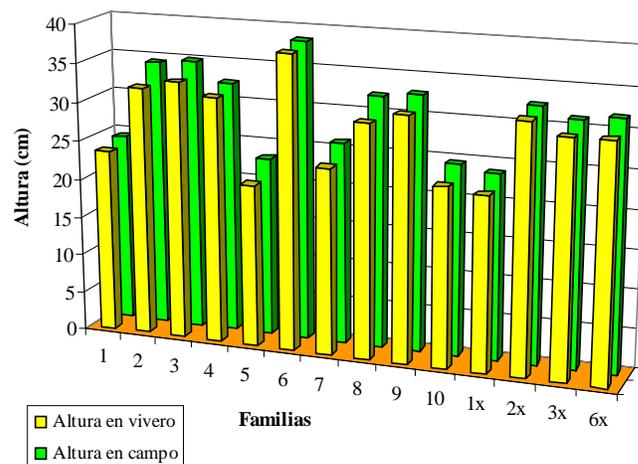


Figura 32. Altura promedio por familia de *Eucalyptus globulus*, en vivero y a tres meses de plantación a 1800 msnm en Santa Barbara de Heredia, Costa Rica.

El promedio de crecimiento por familia representada en la figura 32 fue similar en vivero como en campo, debido al corto tiempo transcurrido entre el momento de la plantación y la evaluación.

La familia 6 presenta la mayor altura promedio en vivero y en campo, seguida de las familias 3 y 2x.

### Incremento promedio en altura por familia en vivero y a tres meses de plantación

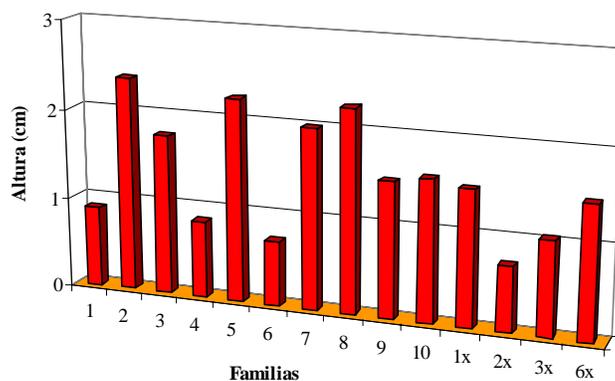


Figura 33. Incremento promedio en altura por familia de *Eucalyptus globulus*, en vivero y a tres meses de plantación a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.

En la figura 33 se observa que después de los tres meses de establecida la plantación, se tuvo un pequeño incremento en altura por familia. Los mayores incrementos están presentes en las familias 2, 5, 8, y 7. Los menores incrementos se registran en las familias 6, 2X, 4 y 1. El promedio general de incremento de todas las familias para este sitio fue de 1.49 cm.

La familia 6 que presentó el mayor promedio de crecimiento en vivero, obtuvo el valor mas bajo de incremento en campo. Esto puede representar que la familia tiene problemas de adaptación al sitio, aunque esto no es concluyente. Algo similar ocurrió con la familia 2X. Es importante resaltar que no es conveniente concluir sobre la posible superioridad de alguna familia a tan temprana edad

### Relación diámetro al cuello y altura en vivero

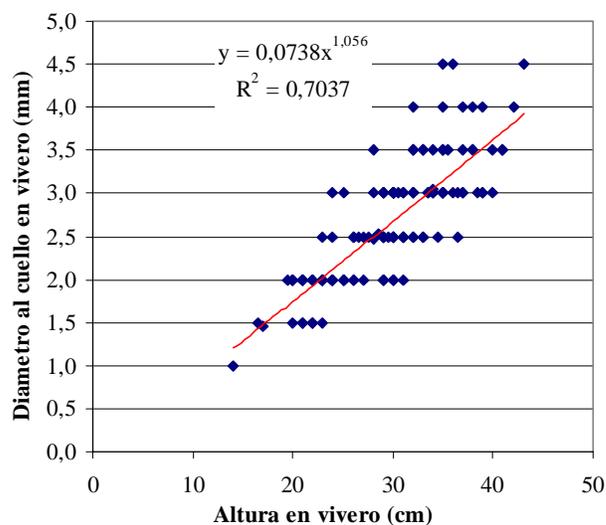


Figura 34. Relación diámetro al cuello y altura de *Eucalyptus globulus* en el vivero forestal del ITCR en Cartago, Costa Rica.

En la ecuación de la línea de tendencia relación altura - diámetro al cuello en vivero no se obtuvo un ajuste aceptable ( $r^2$  de 0.70). No se logró un mejor resultado debido a que la precisión en la medición de diámetro al cuello en vivero no fue rigurosa. A pesar de esto la ecuación ajustada permite estimar el diámetro al cuello de una plántula a partir de su altura total

### Análisis estadístico

Cuadro 33. Correlaciones vivero – tres meses de plantación para los ensayos de *Eucalyptus globulus* a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.

Variables	r
Diámetro al cuello en vivero - altura en campo	0,8009
Altura en vivero - altura en campo	0,9562

Los valores de correlación obtenidos son altos. Probablemente se deba a que el tiempo transcurrido entre la evaluación en vivero y a 3 meses de plantación fue muy corta. Esto es evidente en la correlación entre altura en vivero y altura en campo, donde alcanzo un  $r = 95\%$ . Si bien estos valores altos en las correlaciones es lo que se pretende que existan, en este caso no pueden ser consideradas aun de manera definitiva, dado el corto tiempo transcurrido entre la plantación y el momento de la evaluación.

Cuadro 34. Análisis de varianza entre familias de *Eucalyptus globulus* de la variable altura a los tres meses de plantación a 1800 msnm en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.

Variable	F	Pv > F
Altura	8,03	<0,0001 ***

Nota: \*\*\* significativo a un 99.9%.

El valor obtenido en el análisis de varianza (cuadro 34) indica que la diferencia de alturas entre familias en campo fueron significativas a un 99.9 % de probabilidad. Este resultado es alentador para una posible selección temprana de familias a futuro. Al igual que con los valores de correlación habrá que corroborar estos resultados con nuevas evaluaciones y ver si estos valores se mantienen o varían radicalmente con el tiempo.

Cuadro 35- Diferencias en altura entre familias de *Eucalyptus globulus* en Santo Domingo del Roble, Heredia, Costa Rica.

Altura DMS= 6.0271		
X	N	Familia
36,67	9	6
34,78	9	3
33,38	8	2
32,33	9	2x
31,25	12	4
31,10	30	6x
31,08	13	9
30,50	4	8
30,30	10	3x
25,33	9	7
24,33	9	1
23,71	7	10
23,00	6	5
22,63	8	1x

DMS= Diferencia Mínima Significativa (Waller Duncan, SAS 1998)

Cuadro 36. Análisis de varianza de variables cualitativas entre familias de *Eucalyptus globulus* en vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Variable	F	Pv > F
Estado fitosanitario	9,39	<0,0001 ***
Rectitud	2,88	0,0059 **

Nota: \*\*\* significativos a un 99.9%, \*\* significativos a un 99 %

En el cuadro 36 se observa el análisis de varianza para variables cualitativas entre familias, los resultados muestran que para ambas variables, rectitud y estado fitosanitario, las diferencias fueron significativas entre familias. Esto permitiría determinar a futuro las mejores familias libres de estos defectos. Sin embargo, estos resultados deberán confrontarse con evaluaciones posteriores.

Cuadro 37. Análisis de varianza entre familias de *Eucalyptus globulus* de variables cuantitativas en el vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>Pv &gt; F</b>
Diámetro al cuello	24,83	<0,0001 ***
Altura	31,00	<0,0001 ***

Nota: \*\*\* significativos a un 99.9%

El análisis de varianza para las variables diámetro al cuello y altura en vivero, revelan que hay diferencia significativas entre familias. Por tanto, de mantenerse estas diferencias, será posible realizar a futuro selección temprana de las mejores familias y así lograr un mejoramiento en volumen por unidad de superficie plantada.

## **CONCLUSIONES**

El análisis de varianza indica la existencia de diferencias significativas entre familias, principalmente en las variables de altura, diámetro al cuello y rectitud. De mantenerse estas diferencias en evaluaciones posteriores significara que es posible mejorar la producción de madera, identificando las mejores familias y utilizándolas en los programas de reforestación.

Los valores altos en las correlaciones de las diferentes variables no deben ser consideradas aun de manera definitiva, dado el corto tiempo transcurrido entre la plantación y el momento de la evaluación. Estos resultados deben ser comparados con otros que se obtengan de posteriores evaluaciones.

Los mayores incrementos en altura a los tres meses de plantación se registraron en las familias 2, 5, 8, y 7.

La familia 6 que presentó el mayor promedio de crecimiento en vivero, obtuvo el valor mas bajo de incremento en plantación.

El promedio general de incremento de todas las familias para este sitio a los tres meses de plantado fue de 1.49 cm.

## **RECOMENDACIONES**

Los resultados de esta evaluación, cuyo objetivo es determinar posibilidades de realizar selección temprana, muestra diferencias significativas entre las familias. Lo que permite suponer que existen posibilidades de mejorar la producción de madera, basados en la selección de las mejores familias. Sin embargo los resultados de esta evaluación deberán ser considerados como parte de una serie de evaluaciones, las cuales ratifiquen o modifiquen los resultados preliminares presentados en este documento.

Para que los valores de diámetro al cuello sean más precisos, se debe realizar al menos dos mediciones transversales entre sí. Esto permitirá que los resultados de las correlaciones, relación diámetro al cuello y altura sean más precisos.

Las plántulas en vivero no deben estar sometidas a estados de competencia entre ellas antes de salir a plantación, porque esto puede causar un sesgo en el momento de la evaluación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BADILLA, Y. 1998. Planificación e inicio de un programa de especies forestales de altura para el área de conservación de la Cordillera Volcánica Central. Informe de Practica de especialidad. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 46 p.
- BARROS, F. y FERREIRA, R. 1990. Relacao Solo-Eucalipto. Centro de Ciencias Agrarias, Universidad Federal de Vicosa. Vicosa-MG – Brasil.
- CAMACHO, P. 1981. Informe general del proyecto: Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cartago, Costa Rica. 287 p.
- DURAND – CRESWELL, R. *et al.* 1982. Vegetative Propagation of Eucalypts. En: Bonga, J.M. y Durzan, D.J. ed. Tissue Culture in Forestry. Nijhoff, M. y Junk, W. Publishers. 150 – 181 p.
- FALCONER, D.S. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. Longman, Inc., New York.
- FREESE, F. 1970. Métodos estadísticos elementales para Técnicos Forestales. Centro Regional de Ayuda Técnica Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México/Buenos Aires. México
- HILLIS, W. Y BROWN, A. 1984. Eucalypts for wood production. Academic press. CSIRO Australia. 434 p.

- IPINZA, R. Y GUTIERREZ, B. 1992. Enraizamiento de estaquillas de *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*. Revista Ciencia e Investigación Forestal. Chile. Volumen 6, Numero 1: 62 - 77.
- MARTINEZ H. 1981. Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica. CATIE. Programa de Recursos Naturales Renovables. Turrialba, Costa Rica. 200 p.
- MURILLO, O.; BADILLA, Y.; OBANDO, O. En prensa. Estrategia de introducción y mejoramiento genético de *Eucalyptus globulus* en Costa Rica. Revista Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Costa Rica.
- RODRÍGUEZ, J. Especies de *Pinus* cultivados no Brasil. Grupo editorial Chacaras e Quintais. Brasil.
- ROJAS, F. 1984. Análisis de crecimiento de plántulas de diez especies del genero *Pinus* bajo tres condiciones edáficas y dos regímenes de humedad. Tesis de Maestría en Ciencias. CP Colegio de Postgrado. Chapingo, México. 91 p.
- ROJAS, J. 1999. Contribuciones al fortalecimiento del Programa de Mejoramiento Genético del Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH). Informe de Practica de especialidad. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- VASQUEZ, T. 1978. Comportamiento de *Pinus pseudostrabus* var *oaxacana* mtz., en diferentes técnicas de vivero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 99 p.
- ZOBEL, T. Y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. por: Teobaldo Equiluz. México, D.F.; Méx. Edit. Limusa. 545 p.





**Anexo 5. Parcelas de ensayo de progenie, sitio 2300 msnm (*Pinus patula* y *Pinus radiata*)**

**Sitio 2300 msnm**

Finca Roblesa

División de Pérez Zeledón

Número de la familia **9<sup>36</sup>** Número del individuo

**Parcela *Pinus radiata***

Parcela <i>Pinus patula</i>	16 <sup>3</sup>	16 <sup>13</sup>	1 <sup>15</sup>	2 <sup>2</sup>	5 <sup>15</sup>	6 <sup>34</sup>	9 <sup>36</sup>	10 <sup>19</sup>	13 <sup>6</sup>	14 <sup>19</sup>	1 <sup>3</sup>	1 <sup>29</sup>
	15 <sup>9</sup>	15 <sup>1</sup>	3 <sup>30</sup>	4 <sup>31</sup>	7 <sup>25</sup>	8 <sup>33</sup>	11 <sup>22</sup>	12 <sup>15</sup>	15 <sup>22</sup>	16 <sup>31</sup>	2 <sup>4</sup>	-
	5 <sup>17</sup>	5 <sup>7</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>5</sup>	14 <sup>29</sup>	14 <sup>32</sup>	3 <sup>18</sup>	3 <sup>10</sup>	5 <sup>6</sup>	5 <sup>3</sup>	3 <sup>34</sup>	3 <sup>8</sup>
	6 <sup>23</sup>	6 <sup>22</sup>	9 <sup>33</sup>	9 <sup>24</sup>	1 <sup>19</sup>	1 <sup>20</sup>	16 <sup>23</sup>	16 <sup>12</sup>	7 <sup>7</sup>	7 <sup>3</sup>	4 <sup>36</sup>	4 <sup>10</sup>
	7 <sup>13</sup>	7 <sup>1</sup>	4 <sup>9</sup>	4 <sup>34</sup>	11 <sup>3</sup>	11 <sup>28</sup>	6 <sup>13</sup>	6 <sup>13</sup>	14 <sup>23</sup>	14 <sup>34</sup>	5 <sup>4</sup>	5 <sup>5</sup>
	14 <sup>4</sup>	14 <sup>9</sup>	10 <sup>20</sup>	10 <sup>13</sup>	16 <sup>15</sup>	16 <sup>36</sup>	15 <sup>7</sup>	15 <sup>13</sup>	8 <sup>36</sup>	8 <sup>17</sup>	6 <sup>15</sup>	6 <sup>14</sup>
	13 <sup>9</sup>	13 <sup>14</sup>	5 <sup>2</sup>	5 <sup>1</sup>	12 <sup>14</sup>	12 <sup>13</sup>	1 <sup>22</sup>	1 <sup>16</sup>	2 <sup>35</sup>	2 <sup>1</sup>	7 <sup>26</sup>	7 <sup>23</sup>
	12 <sup>18</sup>	12 <sup>5</sup>	8 <sup>7</sup>	8 <sup>13</sup>	13 <sup>7</sup>	13 <sup>10</sup>	12 <sup>16</sup>	12 <sup>9</sup>	4 <sup>8</sup>	4 <sup>1</sup>	8 <sup>29</sup>	8 <sup>11</sup>
	11 <sup>11</sup>	11 <sup>7</sup>	3 <sup>27</sup>	3 <sup>9</sup>	15 <sup>2</sup>	15 <sup>20</sup>	11 <sup>4</sup>	11 <sup>6</sup>	13 <sup>17</sup>	13 <sup>11</sup>	9 <sup>35</sup>	9 <sup>26</sup>
	10 <sup>4</sup>	10 <sup>17</sup>	6 <sup>21</sup>	6 <sup>32</sup>	7 <sup>10</sup>	7 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>35</sup>	9 <sup>27</sup>	9 <sup>30</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>34</sup>
	9 <sup>34</sup>	9 <sup>28</sup>	3 <sup>28</sup>	3 <sup>7</sup>	1 <sup>17</sup>	1 <sup>1</sup>	15 <sup>21</sup>	15 <sup>5</sup>	13 <sup>21</sup>	13 <sup>13</sup>	11 <sup>16</sup>	11 <sup>8</sup>
	8 <sup>16</sup>	2 <sup>7</sup>	4 <sup>2</sup>	-	2 <sup>6</sup>	2 <sup>3</sup>	14 <sup>8</sup>	14 <sup>2</sup>	12 <sup>7</sup>	12 <sup>19</sup>	4 <sup>3</sup>	-

Entrada

**Parcela *Pinus patula***

Parcela <i>Pinus radiata</i>	Entrada											
	6 <sup>11</sup>	6 <sup>12</sup>	5 <sup>12</sup>	5 <sup>14</sup>	4 <sup>10</sup>	4 <sup>2</sup>	3 <sup>7</sup>	3 <sup>15</sup>	2 <sup>14</sup>	2 <sup>1</sup>	1 <sup>6</sup>	1 <sup>15</sup>
	7 <sup>8</sup>	7 <sup>16</sup>	8 <sup>12</sup>	8 <sup>18</sup>	9 <sup>12</sup>	9 <sup>9</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>17</sup>	11 <sup>7</sup>	11 <sup>15</sup>	12 <sup>11</sup>	12 <sup>12</sup>
	1 <sup>5</sup>	1 <sup>11</sup>	2 <sup>18</sup>	2 <sup>2</sup>	14 <sup>7</sup>	14 <sup>13</sup>	3 <sup>1</sup>	3 <sup>6</sup>	5 <sup>10</sup>	5 <sup>16</sup>	13 <sup>8</sup>	13 <sup>6</sup>
	15 <sup>6</sup>	15 <sup>3</sup>	9 <sup>7</sup>	9 <sup>6</sup>	1 <sup>17</sup>	1 <sup>13</sup>	16 <sup>17</sup>	16 <sup>15</sup>	7 <sup>14</sup>	7 <sup>11</sup>	16 <sup>14</sup>	16 <sup>18</sup>
	14 <sup>8</sup>	14 <sup>4</sup>	4 <sup>14</sup>	4 <sup>16</sup>	11 <sup>8</sup>	11 <sup>16</sup>	6 <sup>6</sup>	6 <sup>12</sup>	14 <sup>5</sup>	14 <sup>17</sup>	6 <sup>3</sup>	6 <sup>15</sup>
	2 <sup>17</sup>	2 <sup>12</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>18</sup>	16 <sup>8</sup>	16 <sup>9</sup>	15 <sup>1</sup>	15 <sup>9</sup>	8 <sup>15</sup>	8 <sup>4</sup>	7 <sup>4</sup>	7 <sup>2</sup>
	16 <sup>3</sup>	3 <sup>2</sup>	5 <sup>2</sup>	5 <sup>8</sup>	12 <sup>13</sup>	12 <sup>17</sup>	1 <sup>1</sup>	1 <sup>18</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>5</sup>	9 <sup>18</sup>	9 <sup>16</sup>
	4 <sup>17</sup>	4 <sup>12</sup>	8 <sup>8</sup>	8 <sup>6</sup>	13 <sup>3</sup>	13 <sup>18</sup>	12 <sup>10</sup>	12 <sup>4</sup>	4 <sup>13</sup>	4 <sup>9</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup>
	5 <sup>13</sup>	5 <sup>1</sup>	3 <sup>14</sup>	3 <sup>4</sup>	15 <sup>5</sup>	15 <sup>10</sup>	11 <sup>5</sup>	11 <sup>18</sup>	13 <sup>5</sup>	13 <sup>12</sup>	11 <sup>11</sup>	11 <sup>14</sup>
	8 <sup>17</sup>	8 <sup>2</sup>	6 <sup>7</sup>	6 <sup>18</sup>	7 <sup>7</sup>	7 <sup>1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	9 <sup>8</sup>	9 <sup>11</sup>	12 <sup>16</sup>	12 <sup>18</sup>
	5 <sup>18</sup>	6 <sup>16</sup>	13 <sup>1</sup>	13 <sup>13</sup>	14 <sup>12</sup>	14 <sup>16</sup>	16 <sup>16</sup>	16 <sup>10</sup>	1 <sup>8</sup>	2 <sup>6</sup>	3 <sup>3</sup>	4 <sup>6</sup>
	14 <sup>3</sup>	7 <sup>15</sup>	15 <sup>12</sup>	15 <sup>18</sup>	12 <sup>8</sup>	11 <sup>6</sup>	15 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup>	8 <sup>3</sup>	3 <sup>5</sup>	13 <sup>10</sup>	x

**Fuente:** Proyecto Instituto Tecnológico de Costa Rica y Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central.

**Anexo 6. Parcelas de ensayo de progenie sitio 2600 msnm (*Pinus patula* y *Pinus radiata*)**

**Sitio 2600 msnm**

Finca Roblesa

División de Pérez Zeledón

Número de la familia **9<sup>36</sup>** Número del individuo

**Parcela *Pinus radiata***

Parcela  
*Pinus patula*

8 <sup>14</sup>	8 <sup>21</sup>	15 <sup>3</sup>	15 <sup>18</sup>	9 <sup>31</sup>	9 <sup>32</sup>	5 <sup>10</sup>	5 <sup>29</sup>	1 <sup>x</sup>	1 <sup>25</sup>	6 <sup>31</sup>	6 <sup>33</sup>
3 <sup>35</sup>	3 <sup>29</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>11</sup>	7 <sup>9</sup>	7 <sup>25</sup>	12 <sup>10</sup>	12 <sup>26</sup>	3 <sup>25</sup>	3 <sup>26</sup>	16 <sup>16</sup>	16 <sup>9</sup>
2 <sup>34</sup>	2 <sup>29</sup>	4 <sup>23</sup>	4 <sup>23</sup>	16 <sup>13</sup>	16 <sup>11</sup>	15 <sup>4</sup>	15 <sup>8</sup>	6 <sup>20</sup>	6 <sup>16</sup>	2 <sup>32</sup>	2 <sup>24</sup>
5 <sup>11</sup>	5 <sup>20</sup>	1 <sup>30</sup>	1 <sup>32</sup>	8 <sup>34</sup>	8 <sup>32</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>16</sup>	7 <sup>15</sup>	7 <sup>5</sup>	14 <sup>10</sup>	14 <sup>22</sup>
16 <sup>17</sup>	16 <sup>35</sup>	9 <sup>10</sup>	9 <sup>29</sup>	11 <sup>19</sup>	11 <sup>4</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	15 <sup>17</sup>	15 <sup>19</sup>	13 <sup>x</sup>	13 <sup>8</sup>
6 <sup>10</sup>	6 <sup>8</sup>	13 <sup>23</sup>	13 <sup>2</sup>	5 <sup>8</sup>	5 <sup>9</sup>	14 <sup>6</sup>	14 <sup>5</sup>	16 <sup>4</sup>	16 <sup>10</sup>	4 <sup>27</sup>	4 <sup>29</sup>
13 <sup>1</sup>	13 <sup>15</sup>	3 <sup>22</sup>	3 <sup>20</sup>	10 <sup>36</sup>	10 <sup>29</sup>	1 <sup>31</sup>	1 <sup>28</sup>	1 <sup>21</sup>	12 <sup>11</sup>	15 <sup>23</sup>	15 <sup>6</sup>
10 <sup>36</sup>	9 <sup>22</sup>	7 <sup>6</sup>	7 <sup>21</sup>	6 <sup>17</sup>	6 <sup>x</sup>	3 <sup>36</sup>	3 <sup>36</sup>	5 <sup>19</sup>	5 <sup>30</sup>	12 <sup>8</sup>	7 <sup>8</sup>
4 <sup>32</sup>	4 <sup>24</sup>	8 <sup>13</sup>	8 <sup>30</sup>	12 <sup>3</sup>	12 <sup>12</sup>	14 <sup>20</sup>	14 <sup>7</sup>	4 <sup>32</sup>	4 <sup>28</sup>	11 <sup>1</sup>	11 <sup>9</sup>
7 <sup>28</sup>	7 <sup>4</sup>	2 <sup>31</sup>	2 <sup>33</sup>	11 <sup>3</sup>	11 <sup>17</sup>	13 <sup>18</sup>	13 <sup>5</sup>	9 <sup>9</sup>	9 <sup>25</sup>	6 <sup>19</sup>	16 <sup>7</sup>
11 <sup>12</sup>	11 <sup>10</sup>	4 <sup>26</sup>	10 <sup>35</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup>	8 <sup>28</sup>	8 <sup>35</sup>	15 <sup>11</sup>	10 <sup>32</sup>	3 <sup>24</sup>	5 <sup>28</sup>
14 <sup>1</sup>	14 <sup>28</sup>	12 <sup>17</sup>	12 <sup>22</sup>	9 <sup>23</sup>	9 <sup>20</sup>	16 <sup>1</sup>	16 <sup>2</sup>	11 <sup>15</sup>	11 <sup>12</sup>	8 <sup>6</sup>	8 <sup>2</sup>

Calle

**Parcela *Pinus patula***

Parcela  
*Pinus radiata*

10 <sup>10</sup>	11 <sup>12</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>	16 <sup>x</sup>	16 <sup>12</sup>	7 <sup>17</sup>	7 <sup>10</sup>	6 <sup>9</sup>	6 <sup>4</sup>	15 <sup>17</sup>	15 <sup>x</sup>
6 <sup>2</sup>	6 <sup>5</sup>	12 <sup>6</sup>	12 <sup>7</sup>	14 <sup>6</sup>	15 <sup>7</sup>	4 <sup>3</sup>	11 <sup>1</sup>	3 <sup>8</sup>	5 <sup>17</sup>	8 <sup>1</sup>	8 <sup>9</sup>
5 <sup>5</sup>	5 <sup>11</sup>	4 <sup>4</sup>	4 <sup>23</sup>	16 <sup>6</sup>	16 <sup>13</sup>	15 <sup>15</sup>	15 <sup>2</sup>	6 <sup>17</sup>	6 <sup>8</sup>	11 <sup>17</sup>	11 <sup>4</sup>
11 <sup>3</sup>	11 <sup>10</sup>	1 <sup>10</sup>	1 <sup>32</sup>	8 <sup>14</sup>	8 <sup>13</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>15</sup>	7 <sup>6</sup>	7 <sup>12</sup>	5 <sup>3</sup>	5 <sup>13</sup>
15 <sup>16</sup>	15 <sup>9</sup>	9 <sup>5</sup>	9 <sup>4</sup>	11 <sup>2</sup>	11 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>16</sup>	15 <sup>14</sup>	15 <sup>8</sup>	13 <sup>2</sup>	13 <sup>15</sup>
14 <sup>9</sup>	14 <sup>10</sup>	13 <sup>11</sup>	13 <sup>4</sup>	5 <sup>7</sup>	5 <sup>9</sup>	14 <sup>2</sup>	14 <sup>15</sup>	16 <sup>5</sup>	16 <sup>11</sup>	3 <sup>12</sup>	3 <sup>18</sup>
2 <sup>11</sup>	2 <sup>15</sup>	3 <sup>11</sup>	3 <sup>16</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>29</sup>	1 <sup>9</sup>	1 <sup>17</sup>	12 <sup>5</sup>	12 <sup>9</sup>	9 <sup>19</sup>	9 <sup>10</sup>
4 <sup>15</sup>	4 <sup>18</sup>	7 <sup>18</sup>	7 <sup>9</sup>	6 <sup>14</sup>	6 <sup>x</sup>	3 <sup>13</sup>	3 <sup>9</sup>	5 <sup>9</sup>	5 <sup>4</sup>	7 <sup>5</sup>	7 <sup>9</sup>
12 <sup>3</sup>	12 <sup>15</sup>	8 <sup>16</sup>	8 <sup>10</sup>	12 <sup>1</sup>	12 <sup>2</sup>	11 <sup>19</sup>	11 <sup>9</sup>	4 <sup>8</sup>	4 <sup>11</sup>	2 <sup>13</sup>	2 <sup>4</sup>
9 <sup>15</sup>	9 <sup>13</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>8</sup>	14 <sup>18</sup>	14 <sup>14</sup>	13 <sup>17</sup>	13 <sup>16</sup>	9 <sup>1</sup>	9 <sup>3</sup>	2 <sup>10</sup>	16 <sup>4</sup>
1 <sup>14</sup>	1 <sup>3</sup>	8 <sup>7</sup>	8 <sup>5</sup>	13 <sup>9</sup>	12 <sup>14</sup>	16 <sup>1</sup>	16 <sup>7</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>12</sup>	14 <sup>1</sup>	14 <sup>11</sup>
13 <sup>14</sup>	13 <sup>7</sup>	3 <sup>17</sup>	3 <sup>10</sup>	1 <sup>9</sup>	1 <sup>2</sup>	4 <sup>7</sup>	4 <sup>5</sup>	1 <sup>15</sup>	6 <sup>10</sup>	77	94

Calle

**Fuente:** Proyecto Instituto Tecnológico de Costa Rica y Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central.

**Anexo 7. Fotografías de *Eucalyptus globulus*.**



Figura 35. Familias de *Eucalyptus globulus* identificadas en el bancal.



Figura 36. Categorías de la variable Calidad (*Eucalyptus globulus*)