



Evaluación del crecimiento de plantas de Raulí con y sin inoculación de Morchella a Cielo Abierto y Cubierto

**Equipo de trabajo: Iván Quiroz M.
Marta González O.
Karoline Casanova D.
Patricio Chung G.
Edison García R.
Hernán Soto G.
Jorge Toro V. (Asesor)**

Abril de 2008

Evaluación del crecimiento de plantas de Raulí con y sin inoculación de *Morchella* a Cielo Abierto y Cubierto

Autores: I. Quiroz y M. González

OBJETIVO DEL ENSAYO

Evaluar el efecto de la inoculación de *Morchella sp* en el crecimiento para las variables altura y dac de raulí (*Nothofagus alpina*) en condiciones de cielo abierto (vivero) y cielo cubierto (invernadero).

METODOLOGÍA

✓ Siembra de semillas

La siembra de semillas de Raulí procedentes de la zona de la Área Productora de Semillas de Remeco se realizó en el mes de Octubre del año 2007 en el invernadero de policarbonato del Instituto Forestal (INFOR) sede Bío-Bío. Esta APS, corresponde a un rodal casi puro de Raulí, de 40 a 60 años, localizado en la precordillera Andina de la Región de Los Ríos, en el predio "Remeco" perteneciente a COFOMAP S.A. (en sector ex Neltume Carranco S. A.), Región de los Ríos. De acuerdo a las intervenciones efectuadas en esta APS el Índice de Calidad aumentó en un 133% en relación al Índice de calidad del rodal original que fue seleccionado para su transformación en APS (Figura 1) (Molina *et al.*, 2006). Las semillas fueron cultivadas en tubetes de 140 cc de volumen, bajo condiciones ambientales controladas a una temperatura de 25 °C.



✓ Tratamiento de semillas de raulí

Las semillas se colocaron en remojo con ácido giberélico por 24 horas para remover la latencia endógena, tratamiento que reemplaza la estratificación en frío, una vez que se

cumplen las 24 horas a temperatura ambiente. Luego las semillas se enjuagaron con abundante agua y se dejaron en un recipiente con agua para separar las semillas flotantes o vanas, de las que se hundieron (semillas viables). Posteriormente las semillas se llevaron por 4 días a una cámara de germinación para acelerar su proceso de germinación.

La siembra se realizó en forma directa al tubete, depositando 2 semillas por contenedor. El sustrato utilizado consistió en corteza de pino tamizada de granulometría fina G10.

En el mes de diciembre y una vez que las plantas alcanzaron una altura aproximada de 5 cm fueron inoculadas con hongos micorrízicos (*Morchella sp.*). Esta aplicación se realizó con regadera, en dosis 500 cc de inóculos esporal en 5 litros de agua. Este inóculo se preparó anteriormente, moliendo los cuerpos frutales de *Morchella sp.*, hasta formar un líquido, que fue el que se diluyó en agua para ser aplicado directamente a las plantas de raulí.

Para este ensayo se utilizaron un total de 56 almacigueras de 88 cavidades y 10 almacigueras de igual cantidad, que servirán de testigo. Esta cantidad se dividió en dos tratamientos, uno en invernadero y el segundo al aire libre. El total de plantas inoculadas fue de 4.928 y 880 plantas de testigo.

Las variables evaluadas fueron altura en cm y Dac (diámetro a la altura del cuello) en mm.

Análisis estadísticos mensuales

Para analizar estadísticamente los datos en forma mensual, se utilizó el software estadístico Infostat. Debido a que los datos analizados corresponden a una sola medición, se realizó un análisis de varianza tradicional. El test de comparación utilizado correspondió al de Scott & Knott.

El modelo utilizado fue:

$$Y = \mu + T + L + (T * L) + E$$

Donde :
 μ = Constante
 T = Tratamiento (Inoculado o no)
 L = Lugar (invernadero o vivero)
 E = Error

Análisis estadísticos en el tiempo

Con el objeto de determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en el tiempo, es que se decidió trabajar con Modelos Estadísticos Lineales Mixtos (utilizando el Software SAS) para atender la falta de alguno(s) de los supuestos clásicos que requiere un análisis de varianza tradicional, y que corresponden a:

1. Los datos presentan una distribución normal.
2. Independencia de los datos.
3. Heterogeneidad de varianza.

Para el análisis de las variables dac y altura se realizó un análisis de mediciones repetidas en el tiempo o también conocido como análisis longitudinal. Estas mediciones repetidas

son dependientes, lo que señala el no cumplimiento de la independencia de datos (las mediciones del mes 2 dependen de las mediciones del mes 1 y sucesivamente).

Para ello se consideraron, para cada individuo y parámetro, cinco evaluaciones consecutivas en el tiempo (mediciones de diciembre, enero, febrero, marzo y abril). Este análisis permite identificar tanto el efecto medio del tratamiento (tipo de contenedor), el efecto del tiempo, y la interacción tiempo por tratamiento, que corresponden a las tres hipótesis evaluadas, y que por lo tanto generan tres valores p.

El modelo de análisis corresponde a:

$$Y = \mu + T + L + (T * L) + E$$

Donde :
 μ = Constante
 T = Tratamiento (Inoculado o no)
 L = Lugar (invernadero o vivero)
 E = Error

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Primera evaluación Diciembre 2007

Análisis de Varianza de la Altura Diciembre 2007

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| H | 264 | 0,09 | 0,08 | 27,04 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|-------|-------|---------|
| Modelo | 153,36 | 3 | 51,12 | 8,44 | <0,0001 |
| Tratamiento | 90,47 | 1 | 90,47 | 14,93 | 0,0001 |
| Lugar | 0,05 | 1 | 0,05 | 0,01 | 0,9287 |
| Tratamiento*Lugar | 34,09 | 1 | 34,09 | 5,62 | 0,0184 |
| Error | 1575,55 | 260 | 6,06 | | |
| Total | 1728,91 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza de la Altura, tanto el modelo como el factor tratamiento, y la interacción tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para la altura, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 6,0598 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n |
|-------------|--------|---|
|-------------|--------|---|

| | | | |
|-----------------|------|-----|---|
| Raulí Testigo | 7,72 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 9,35 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Para el caso de la comparación, del Lugar, es decir, donde se encontraban ubicadas las plantas, se observa que para la altura de raulí, no hay diferencias estadísticamente significativas, independiente si las plantas se encontraban o no inoculadas.

| | | | |
|-----------------------------------------|--------|-----|---|
| Test:Scott & Knott Alfa=0,05 | | | |
| <i>Error: 6,0598 gl: 260</i> | | | |
| Lugar | Medias | n | |
| Invernadero | 8,52 | 132 | A |
| Vivero | 8,56 | 132 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Al realizar las pruebas de comparación, a la interacción tratamiento y lugar, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas para la variable altura, observándose que la altura fue menor en aquellas plantas de raulí sin inocular que estaban creciendo en invernadero. Por su parte, las plantas de raulí inoculadas con *Morchella* que están creciendo en invernadero, presenta la mayor altura en esta primera medición (Figura 2). No se observan diferencias significativas en las plantas creciendo en vivero (a cielo abierto).

| | | | | |
|-----------------------------------------|-------------|--------|-----|---|
| Test:Scott & Knott Alfa=0,05 | | | | |
| <i>Error: 6,0598 gl: 260</i> | | | | |
| Tratamiento | Lugar | Medias | n | |
| Raulí Testigo | Invernadero | 7,20 | 20 | A |
| Raulí Testigo | Vivero | 8,24 | 20 | B |
| Raulí Morchella | Vivero | 8,87 | 112 | B |
| Raulí Morchella | Invernadero | 9,83 | 112 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

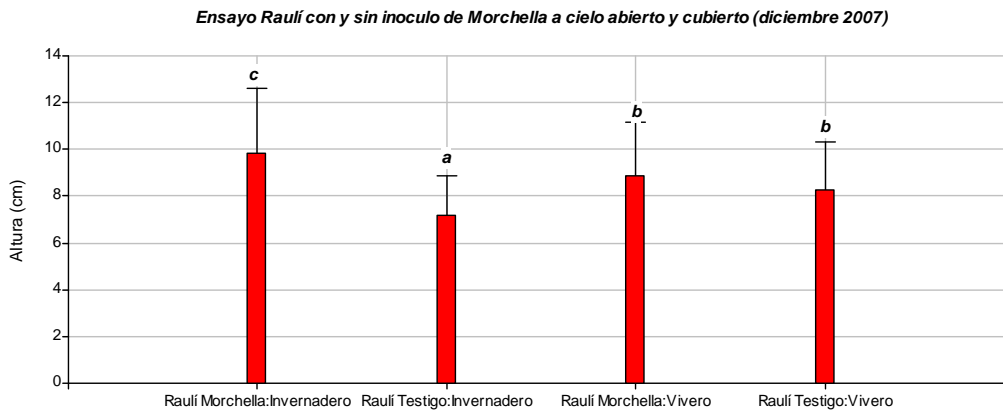


Figura 2. Comparación de tratamientos para la variable Altura.

Análisis de Varianza del Dac Diciembre 2007

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Dac | 264 | 0,03 | 0,02 | 24,69 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 1,42 | 3 | 0,47 | 2,97 | 0,0326 |
| Tratamiento | 0,81 | 1 | 0,81 | 5,10 | 0,0248 |
| Lugar | 4,9E-03 | 1 | 4,9E-03 | 0,03 | 0,8607 |
| Tratamiento*Lugar | 0,26 | 1 | 0,26 | 1,61 | 0,2056 |
| Error | 41,52 | 260 | 0,16 | | |
| Total | 42,95 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza del Dac, tanto el modelo como el factor tratamiento, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para el Dac, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella, independiente si éstas se encontraban en invernadero o vivero.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,1597 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | 1,49 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 1,64 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para el caso de la comparación, del Lugar, es decir, donde se encontraban ubicadas las plantas, se observa que para el Dac de raulí, no hay diferencias estadísticamente significativas, independiente si las plantas se encontraban o no inoculadas.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,1597 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Vivero | 1,56 | 132 | A |
| Invernadero | 1,57 | 132 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al realizar las pruebas de comparación, a la interacción tratamiento y lugar, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas para la variable Dac. No obstante, las plantas de raulí inoculadas y ubicadas en el invernadero presentan un Dac mayor (Figura 3).

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,1597 gl: 260

| Tratamiento | Lugar | Medias | n | |
|-----------------|-------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | Invernadero | 1,45 | 20 | A |
| Raulí Testigo | Vivero | 1,53 | 20 | A |
| Raulí Morchella | Vivero | 1,59 | 112 | A |
| Raulí Morchella | Invernadero | 1,69 | 112 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Ensayo Raulí con y sin inóculo de Morchella a cielo abierto y cubierto (diciembre 2007)

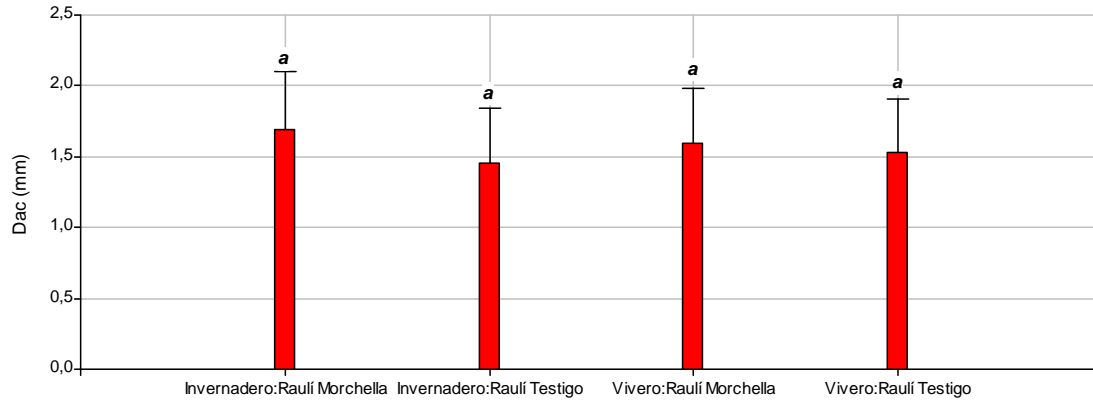


Figura 3. Comparación de tratamientos para la variable Dac.



Figura 4. Plantas de raulí inoculadas con Morchella en vivero (enero de 2008).



Figura 5 Plantas de raulí sin inocular (testigo) en vivero (enero de 2008).

Segunda Evaluación Enero 2008

Análisis de la varianza de la Altura Enero 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| H2 | 264 | 0,04 | 0,03 | 30,62 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|--------|------|---------|
| Modelo | 248,82 | 3 | 82,94 | 3,46 | 0,0170 |
| Tratamiento | 145,28 | 1 | 145,28 | 6,06 | 0,0145 |
| Lugar | 68,78 | 1 | 68,78 | 2,87 | 0,0916 |
| Tratamiento*Lugar | 2,41 | 1 | 2,41 | 0,10 | 0,7515 |
| Error | 6235,15 | 260 | 23,98 | | |
| Total | 6483,97 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza de la Altura, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza. La interacción de los factores lugar y tratamiento no presentaron diferencias estadísticas.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para la altura, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con *Morchella*, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero.

Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 23,9814 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | 14,24 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 16,31 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para el caso de la comparación, del Lugar, es decir, donde se encontraban ubicadas las plantas, se observa que para la altura de raulí, existen diferencias estadísticamente significativas, siendo las plantas ubicadas en el exterior o vivero las que presentan una altura estadísticamente superior a aquellas ubicadas en invernadero, independiente si las plantas se encontraban o no inoculadas.

Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 23,9814 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 14,56 | 132 | A |
| Vivero | 15,99 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al realizar las pruebas de comparación, a la interacción tratamiento y lugar, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas para la variable Altura. No obstante, las plantas de raulí inoculadas con Morchella y ubicadas en el vivero presentaron la mayor altura (Figura 6).

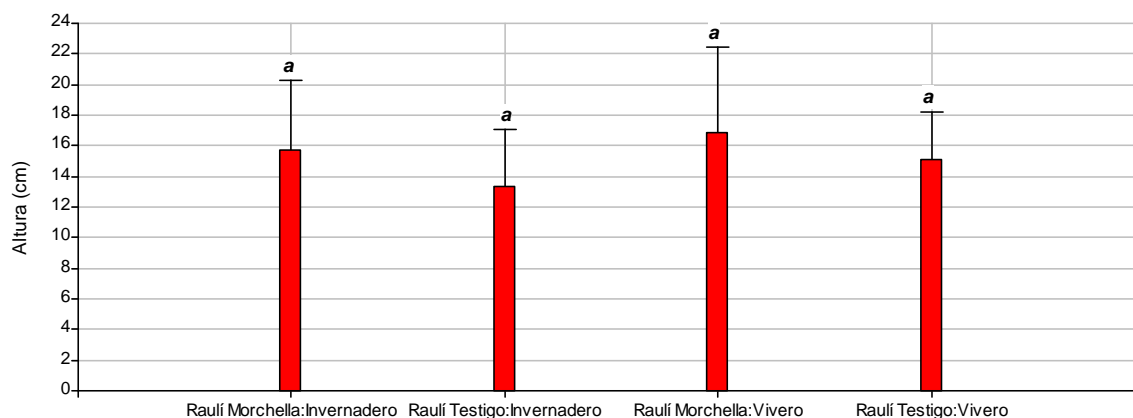
Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 23,9814 gl: 260

| Tratamiento | Lugar | Medias | n | |
|-----------------|-------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | Invernadero | 13,40 | 20 | A |
| Raulí Testigo | Vivero | 15,09 | 20 | A |
| Raulí Morchella | Invernadero | 15,73 | 112 | A |
| Raulí Morchella | Vivero | 16,89 | 112 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Ensayo Raulí con y sin inoculos de Morchella a cielo abierto y cubierto (enero 2008)

**Figura 6. Comparación de tratamientos para la variable Altura.**

Análisis de la varianza del Dac Enero 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Dac2 | 264 | 0,06 | 0,05 | 24,12 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|-------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 4,98 | 3 | 1,66 | 5,71 | 0,0008 |
| Tratamiento | 1,80 | 1 | 1,80 | 6,21 | 0,0134 |
| Lugar | 1,08 | 1 | 1,08 | 3,73 | 0,0545 |
| Tratamiento*Lugar | 0,10 | 1 | 0,10 | 0,34 | 0,5628 |
| Error | 75,45 | 260 | 0,29 | | |
| Total | 80,42 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza del Dac, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para el Dac, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con *Morchella*, independiente si éstas se encontraban en invernadero o vivero.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,2902 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|------------------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | 2,04 | 40 | A |
| Raulí <i>Morchella</i> | 2,27 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para el caso de la comparación, del Lugar, es decir, donde se encontraban ubicadas las plantas, se observa que para el Dac de raulí, existen diferencias estadísticamente significativas en aquellas plantas de raulí ubicadas en el vivero, siendo las que presentan un dac mayor al de las plantas ubicadas en invernadero, independiente si las plantas se encontraban o no inoculadas.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,2902 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 2,06 | 132 | A |
| Vivero | 2,24 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al realizar las pruebas de comparación, a la interacción tratamiento y lugar, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas para la variable dac, observándose que el Dac fue menor en aquellas plantas de raulí sin inocular que estaban creciendo en invernadero. Por su parte, las plantas de raulí inoculadas con *Morchella* que están creciendo en vivero, presenta la mayor altura en la segunda medición (Figura 7).

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,2902 gl: 260

| Tratamiento | Lugar | Medias | n | |
|-----------------|-------------|--------|-----|---|
| Raulí Testigo | Invernadero | 1,98 | 20 | A |
| Raulí Testigo | Vivero | 2,10 | 20 | A |
| Raulí Morchella | Invernadero | 2,15 | 112 | A |
| Raulí Morchella | Vivero | 2,38 | 112 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

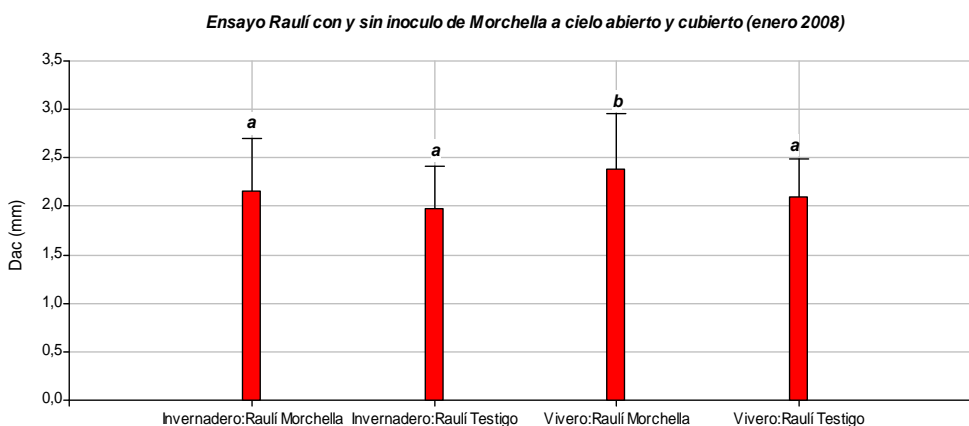


Figura 7. Comparación de tratamientos para la variable Dac.

En las Figuras 8 y 9 se presenta la evolución mensual del crecimiento en altura y Dac de las plantas de raulí ensayadas. Se observa que para ambas variables evaluadas la tendencia es la misma, es decir, las plantas de Raulí inoculadas con Morchella presentan los valores más altos de altura y dac en ambas mediciones. No obstante, las plantas ubicadas en el vivero (cielo abierto) tienden a presentar valores más altos que los de plantas ubicadas en invernadero (cielo cubierto).

Evolución de la Altura de Plantas de Raulí con y sin inoculo de Morchella en vivero e invernadero

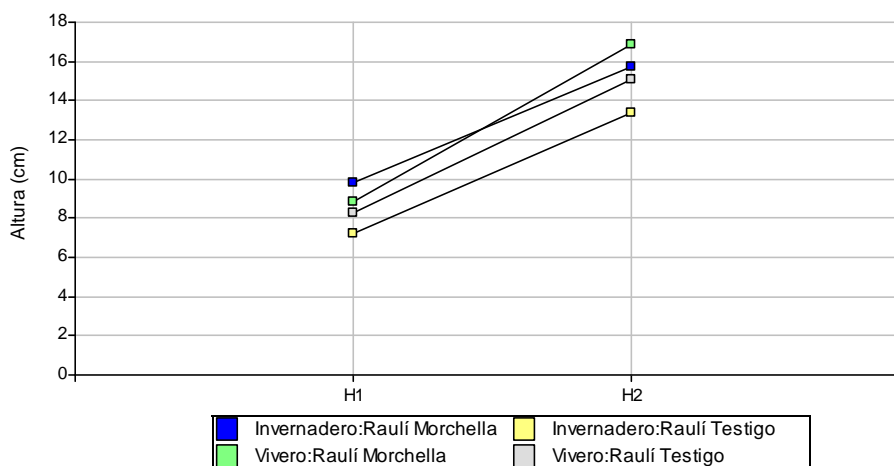


Figura 8. Evolución de la Altura en plantas de raulí.

Evolución del Dac en plantas de Raulí con y sin inóculo de Morchella en vivero e invernadero

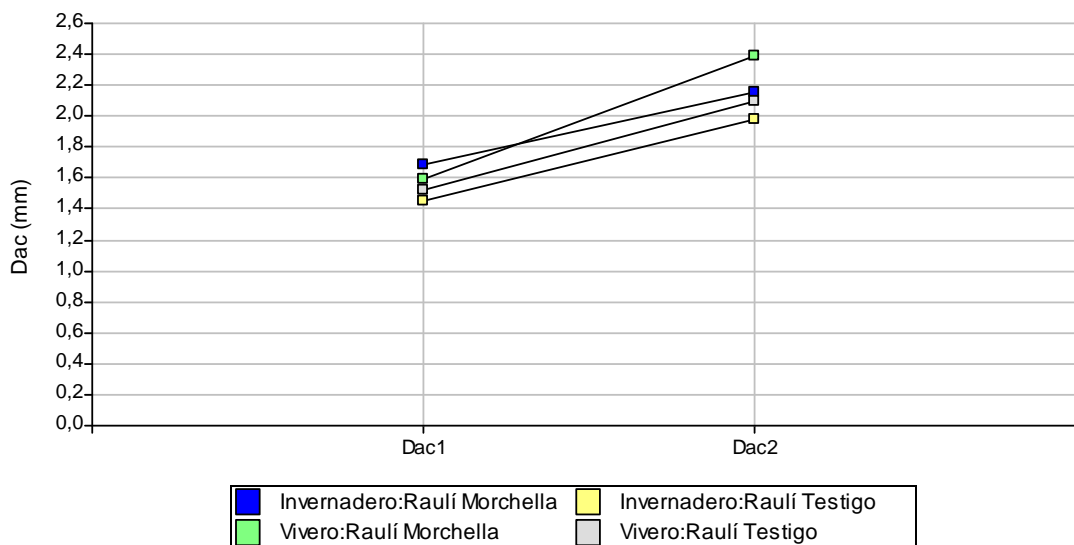


Figura 9. Evolución del Dac en plantas de raulí.

Tercera Evaluación Febrero 2008

Análisis de la varianza de la Altura febrero 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| H3 | 264 | 0,10 | 0,09 | 29,94 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|--------|-------|---------|
| Modelo | 1000,15 | 3 | 333,38 | 9,87 | <0,0001 |
| Lugar | 293,11 | 1 | 293,11 | 8,67 | 0,0035 |
| Tratamiento | 373,81 | 1 | 373,81 | 11,06 | 0,0010 |
| Lugar*Tratamiento | 1,34 | 1 | 1,34 | 0,04 | 0,8423 |
| Error | 8785,75 | 260 | 33,79 | | |
| Total | 9785,89 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza de la Altura, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza. La interacción de los factores lugar y tratamiento no presentaron diferencias estadísticas.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para la altura, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero, y hay diferencias en las plantas de raulí ubicadas en el vivero, las que son más altas, independiente si estaban o no inoculadas.

Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 33,7913 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 16,79 | 132 | A |
| Vivero | 19,73 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)**Test:Scott & Knott Alfa=0,05**

Error: 33,7913 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Testigo | 16,60 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 19,92 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las pruebas de comparación múltiple de la interacción lugar tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas en aquellas plantas de raulí inoculadas y ubicadas en el vivero a cielo abierto, las que presentan la mayor altura (Figura 10).

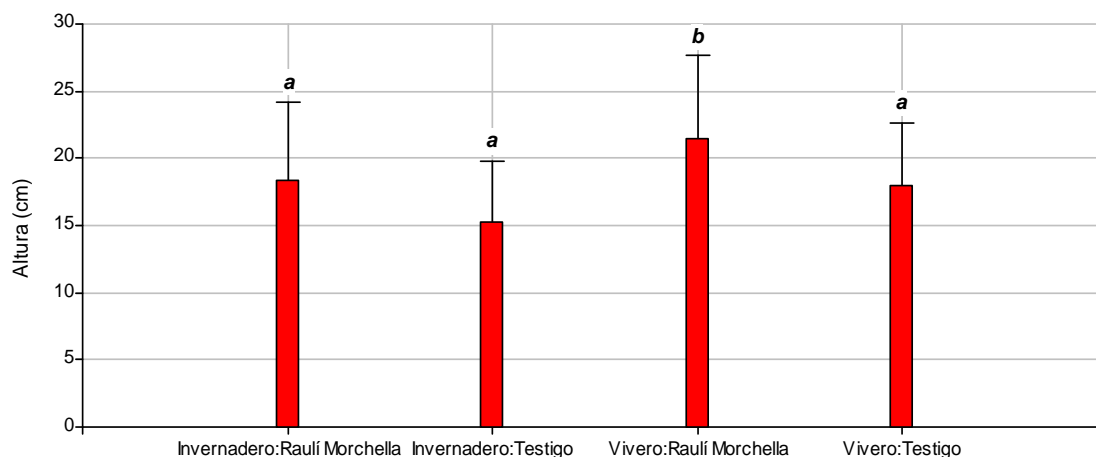
Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 33,7913 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|-----------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 15,23 | 20 | A |
| Vivero | Testigo | 17,97 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí Morchella | 18,35 | 112 | A |
| Vivero | Raulí Morchella | 21,49 | 112 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Ensayo Raulí con y sin inoculos de Morchella a cielo abierto y cubierto (febrero 2008)

**Figura 10. Comparación de tratamientos para la variable Altura.****Análisis de la varianza del Dac febrero 2008**

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Dac3 | 264 | 0,08 | 0,07 | 22,78 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|--------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 9,65 | 3 | 3,22 | 8,00 | <0,0001 |
| Lugar | 2,66 | 1 | 2,66 | 6,61 | 0,0107 |
| Tratamiento | 2,87 | 1 | 2,87 | 7,13 | 0,0081 |
| Lugar*Tratamiento | 0,10 | 1 | 0,10 | 0,25 | 0,6143 |
| Error | 104,54 | 260 | 0,40 | | |
| Total | 114,19 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza del Dac, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Las plantas de raulí ubicadas en vivero presentaron los mayores valores de Dac, independiente si estaban o no inoculadas, y estas diferencias fueron estadísticamente significativas.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,4021 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 2,54 | 132 | A |
| Vivero | 2,82 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para el caso de la comparación por tratamiento, se observa que para el Dac de raulí, existen diferencias estadísticamente significativas en aquellas plantas de raulí inoculadas con morchella, siendo estas las que presentan un dac mayor al de las plantas testigos.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,4021 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Testigo | 2,54 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 2,83 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para el Dac, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella y que se encontraban en invernadero o vivero (Figura 11).

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,4021 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|-----------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 2,42 | 20 | A |
| Vivero | Testigo | 2,65 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí Morchella | 2,66 | 112 | A |
| Vivero | Raulí Morchella | 3,00 | 112 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

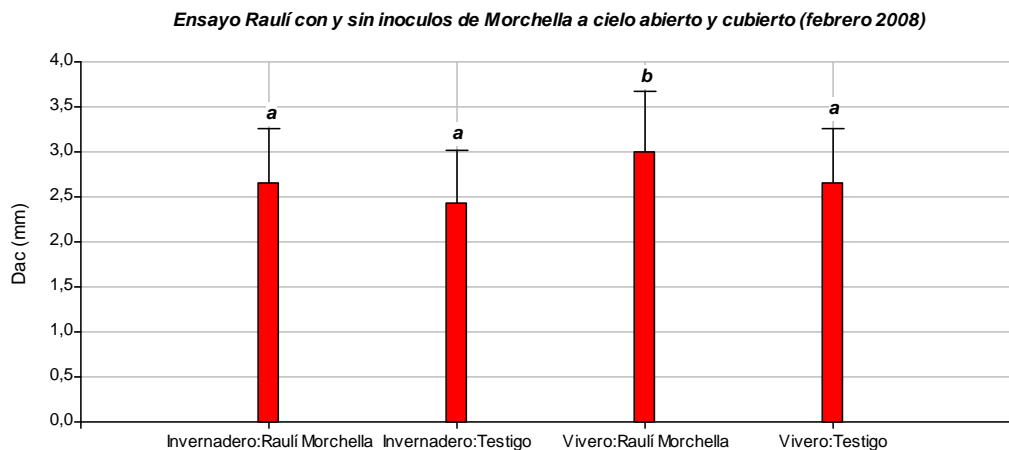


Figura 11. Comparación de tratamientos para la variable Dac.

En las Figuras 12 y 13 se presenta la evolución mensual del crecimiento en altura y Dac de las plantas de raulí ensayadas. Se observa que para ambas variables evaluadas la tendencia es la misma, es decir, las plantas de Raulí inoculadas con Morchella y ubicadas en el vivero, presentan los valores más altos de altura y dac en las tres mediciones. No obstante, las plantas ubicadas en el invernadero y sin inocular presentan los valores más bajos tanto para altura y dac.

Evolución de la Altura en plantas de Raulí con y sin inoculo de Morchella en vivero e invernadero

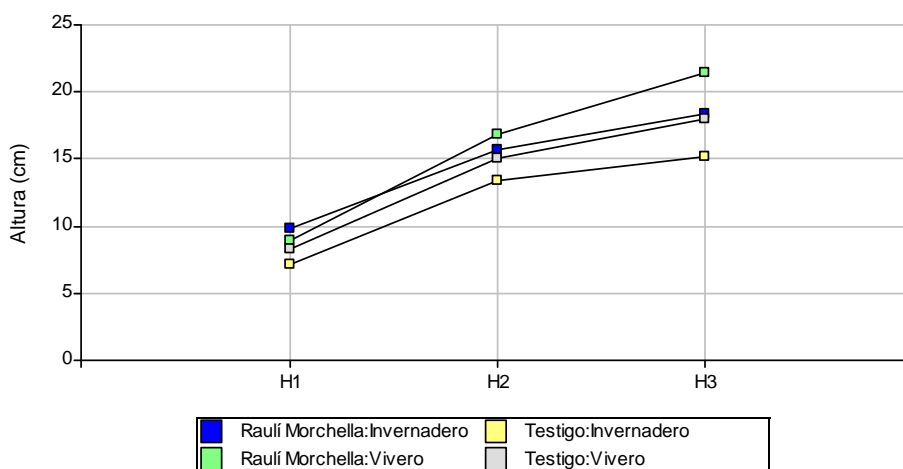


Figura 12. Evolución de la Altura en plantas de raulí.

Evolución del Dac en plantas de Raulí con y sin inoculo de Morchella en vivero e invernadero

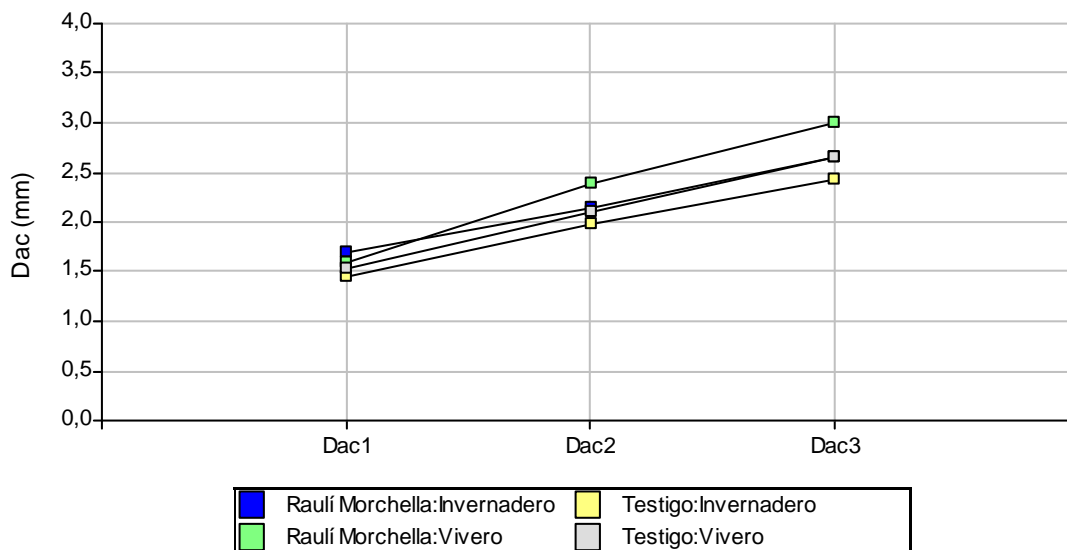


Figura 13. Evolución del Dac en plantas de raulí.

Cuarta Evaluación Marzo 2008

Análisis de la varianza de la Altura marzo 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| H4 | 264 | 0,09 | 0,08 | 26,54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|--------|-------|---------|
| Modelo | 872,80 | 3 | 290,93 | 8,67 | <0,0001 |
| Lugar | 474,84 | 1 | 474,84 | 14,16 | 0,0002 |
| Tratamiento | 167,79 | 1 | 167,79 | 5,00 | 0,0262 |
| Lugar*Tratamiento | 18,56 | 1 | 18,56 | 0,55 | 0,4576 |
| Error | 8720,81 | 260 | 33,54 | | |
| Total | 9593,61 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza de la Altura, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza. La interacción de los factores lugar y tratamiento no presentaron diferencias estadísticas.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que hay diferencias significativas para la altura, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero, y hay diferencias en las plantas de raulí ubicadas en el vivero, las que son más altas, independiente si estaban o no inoculadas.

Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 33,5416 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Testigo | 19,94 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 22,16 | 224 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)**Test:Scott & Knott Alfa=0,05**

Error: 33,5416 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 19,18 | 132 | A |
| Vivero | 22,92 | 132 | B |

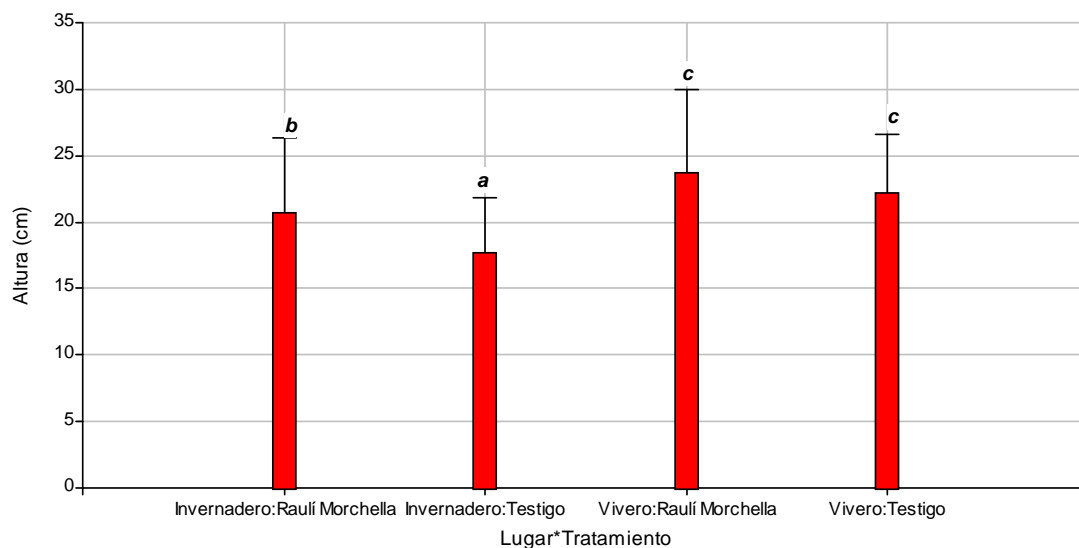
Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las pruebas de comparación múltiple de la interacción lugar - tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas en aquellas plantas de raulí inoculadas y ubicadas en el vivero a cielo abierto, las que presentan la mayor altura, así como las plantas de raulí sin inocular ubicadas a cielo abierto (Figura 14).

Test:Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 33,5416 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|-----------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 17,70 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí Morchella | 20,66 | 112 | B |
| Vivero | Testigo | 22,18 | 20 | C |
| Vivero | Raulí Morchella | 23,66 | 112 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)**Ensayo Raulí con y sin inoculos de Morchella a cielo abierto y cubierto (marzo 2008)****Figura 14. Comparación de tratamientos para la variable Altura.**

Análisis de la varianza del Dac marzo 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Dac4 | 264 | 0,13 | 0,12 | 27,01 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|--------|-----|-------|-------|---------|
| Modelo | 29,77 | 3 | 9,92 | 12,92 | <0,0001 |
| Lugar | 12,96 | 1 | 12,96 | 16,87 | 0,0001 |
| Tratamiento | 2,02 | 1 | 2,02 | 2,63 | 0,1064 |
| Lugar*Tratamiento | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,08 | 0,7760 |
| Error | 199,72 | 260 | 0,77 | | |
| Total | 229,49 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza del Dac, tanto el modelo como el factor lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que no hay diferencias significativas para el Dac, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con *Morchella* independiente de donde se encontraban (vivero o invernadero); en cambio se observaron diferencias significativas para el dac, en aquellas plantas de raulí ubicadas en vivero, las que presentaron el dac más grande.

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,7682 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|------------------------|--------|-----|---|
| Testigo | 3,04 | 40 | A |
| Raulí <i>Morchella</i> | 3,28 | 224 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,7682 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 2,85 | 132 | A |
| Vivero | 3,47 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las pruebas de comparación múltiple de la interacción lugar - tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas para el Dac en aquellas plantas de raulí ubicadas en el vivero a cielo abierto, con y sin inoculación de *Morchella*, las que presentan el mayor Dac (Figura 15).

Test: Scott & Knott Alfa=0,05

Error: 0,7682 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|------------------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 2,75 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí <i>Morchella</i> | 2,95 | 112 | A |
| Vivero | Testigo | 3,32 | 20 | B |
| Vivero | Raulí <i>Morchella</i> | 3,61 | 112 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Comparación del Dac de Raulí con y sin inoculos de Morchella a Cielo abierto y Cubierto (marzo 2008)

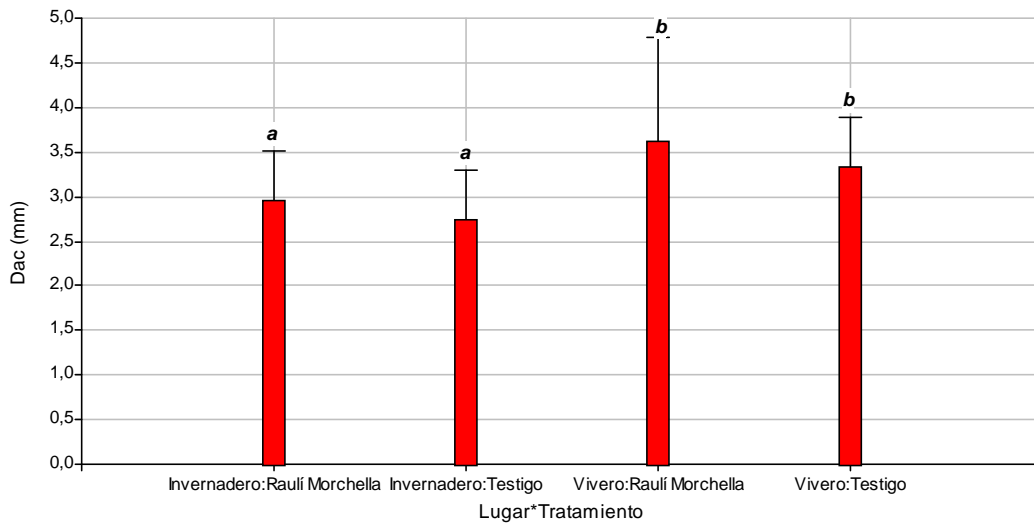


Figura 15. Comparación de tratamientos para la variable Dac.

En las Figuras 16 y 17 se presenta la evolución mensual del crecimiento en altura y Dac de las plantas de raulí ensayadas. Se observa que para ambas variables evaluadas la tendencia es la misma, es decir, las plantas de Raulí inoculadas con Morchella y ubicadas en el vivero, presentan los valores más altos de altura y dac en las cuatro mediciones. No obstante, las plantas ubicadas en el invernadero y sin inocular presentan los valores más bajos tanto para altura y dac en las cuatro evaluaciones. Se observa en el último periodo que las plantas testigos ubicadas a cielo abierto (vivero), presentan una altura y dac mayor que las plantas de invernadero inoculadas.

Evolución de la Altura de Raulí con y sin inoculo de Morchella en Vivero e Invernadero

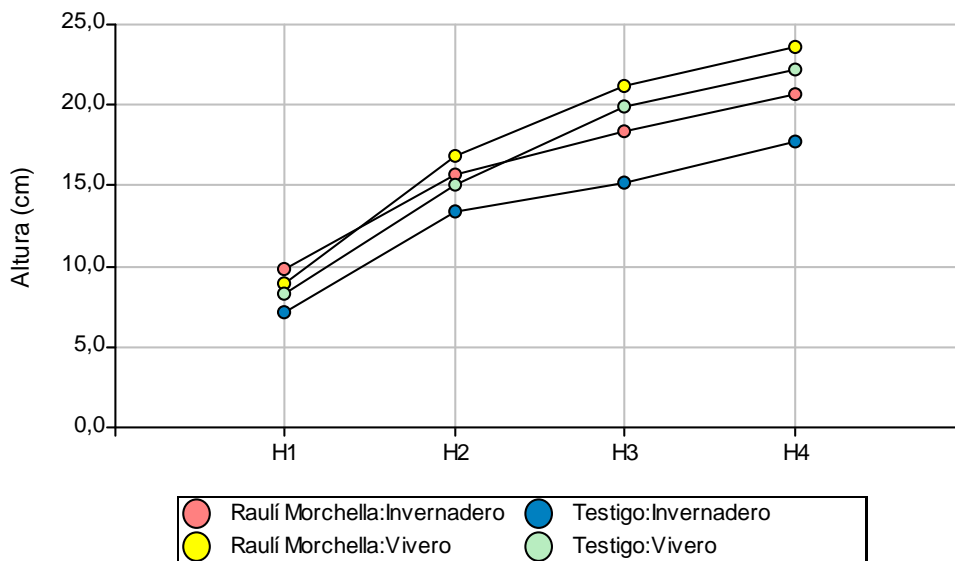


Figura 16. Evolución de la Altura en plantas de raulí.

Evolución del Dac de Raulí con y sin inoculo de Morchella en Vivero e Invernadero

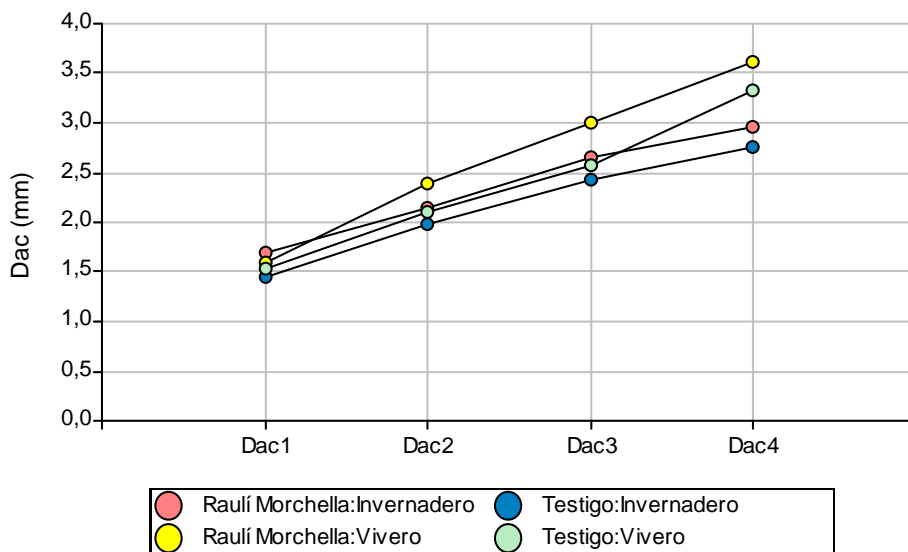


Figura 17. Evolución del Dac en plantas de raulí.

Quinta Evaluación Abril 2008

Análisis de la varianza de la Altura abril de 2008

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| H5 | 264 | 0,08 | 0,07 | 25,75 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|--------|-------|---------|
| Modelo | 728,23 | 3 | 242,74 | 7,38 | 0,0001 |
| Lugar | 449,29 | 1 | 449,29 | 13,66 | 0,0003 |
| Tratamiento | 130,60 | 1 | 130,60 | 3,97 | 0,0474 |
| Lugar*Tratamiento | 36,47 | 1 | 36,47 | 1,11 | 0,2934 |
| Error | 8553,96 | 260 | 32,90 | | |
| Total | 9282,19 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza de la Altura, tanto el modelo como los factores tratamiento y lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza. La interacción de los factores lugar y tratamiento no presentó diferencias estadísticas.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que no hay diferencias significativas para la altura, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con Morchella, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero; no obstante, se presentan diferencias significativas en las plantas de raulí ubicadas en el vivero, las que son más altas, independiente si se encontraban o no inoculadas.

Test:Scott & Knott Alfa:=0,05

Error: 32,8998 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 19,77 | 132 | A |
| Vivero | 23,41 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)**Test:Scott & Knott Alfa:=0,05**

Error: 32,8998 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|-----------------|--------|-----|---|
| Testigo | 20,61 | 40 | A |
| Raulí Morchella | 22,57 | 224 | A |

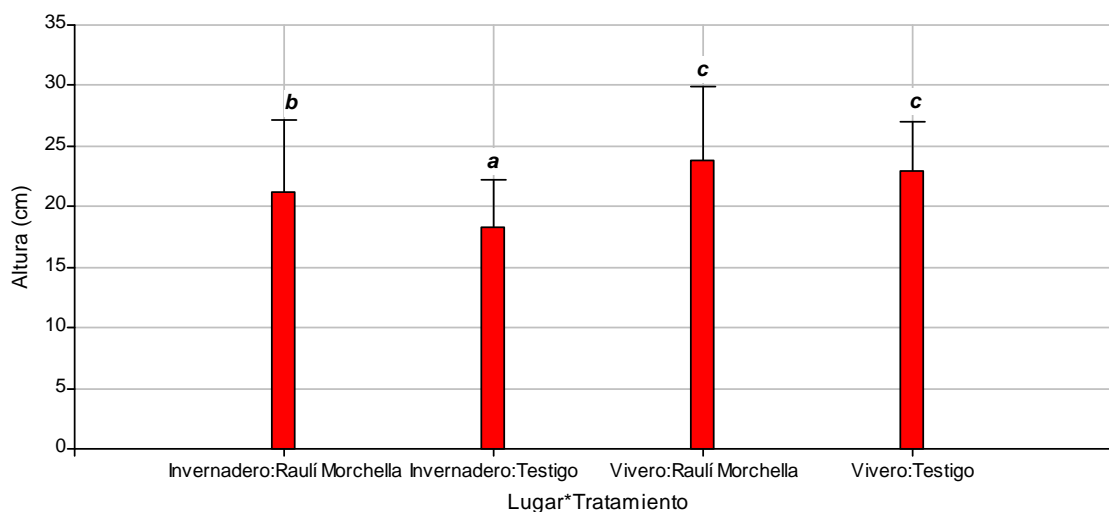
Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Las pruebas de comparación múltiple de la interacción lugar - tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas para la Altura de raulí en aquellas plantas ubicadas en el vivero o a cielo abierto, con y sin inoculación de Morchella, las que presentan la mayor Altura (Figura 18).

Test:Scott & Knott Alfa:=0,05

Error: 32,8998 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|-----------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 18,28 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí Morchella | 21,27 | 112 | B |
| Vivero | Testigo | 22,95 | 20 | C |
| Vivero | Raulí Morchella | 23,88 | 112 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)**Ensayo Raulí con y sin inóculo de Morchella a cielo abierto y cubierto (abril 2008)****Figura 18. Comparación de tratamientos para la variable Altura.**

Análisis de la varianza del Dac

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Dac5 | 264 | 0,09 | 0,08 | 24,47 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|-----|---------|---------|---------|
| Modelo | 18,41 | 3 | 6,14 | 8,44 | <0,0001 |
| Lugar | 8,99 | 1 | 8,99 | 12,37 | 0,0005 |
| Tratamiento | 1,40 | 1 | 1,40 | 1,93 | 0,1664 |
| Lugar*Tratamiento | 3,6E-03 | 1 | 3,6E-03 | 4,9E-03 | 0,9441 |
| Error | 189,03 | 260 | 0,73 | | |
| Total | 207,44 | 263 | | | |

Como se observa en el cuadro de Análisis de varianza del Dac, tanto el modelo como el factor lugar, presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p < 0,05$ de confianza.

Al hacer las pruebas de comparación múltiples para cada variable, se observa que no hay diferencias significativas para el Dac, en aquellas plantas de raulí que fueron inoculadas con *Morchella* independiente de donde se encontraban (vivero o invernadero); en cambio se observaron diferencias significativas para el dac, en aquellas plantas de raulí ubicadas en vivero, las que presentaron el dac más grande.

Test: Scott & Knott Alfa: =0,05

Error: 0,7270 gl: 260

| Lugar | Medias | n | |
|-------------|--------|-----|---|
| Invernadero | 3,16 | 132 | A |
| Vivero | 3,67 | 132 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Scott & Knott Alfa: =0,05

Error: 0,7270 gl: 260

| Tratamiento | Medias | n | |
|------------------------|--------|-----|---|
| Testigo | 3,31 | 40 | A |
| Raulí <i>Morchella</i> | 3,52 | 224 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las pruebas de comparación múltiple de la interacción lugar - tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas para el Dac de raulí en aquellas plantas ubicadas en el vivero o a cielo abierto, con y sin inoculación de *Morchella*, las que presentan el mayor Dac (Figura 19).

Test: Scott & Knott Alfa: =0,05

Error: 0,7270 gl: 260

| Lugar | Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|------------------------|--------|-----|---|
| Invernadero | Testigo | 3,05 | 20 | A |
| Invernadero | Raulí <i>Morchella</i> | 3,26 | 112 | A |
| Vivero | Testigo | 3,58 | 20 | B |
| Vivero | Raulí <i>Morchella</i> | 3,77 | 112 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

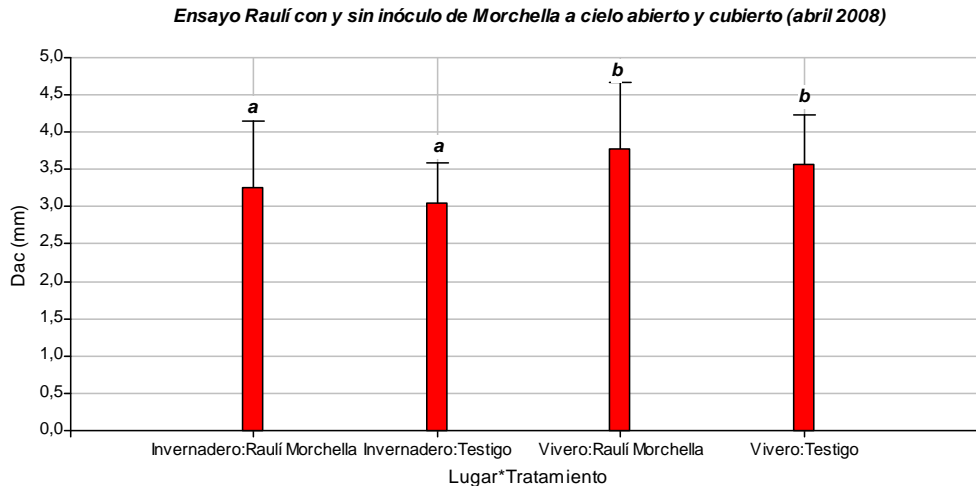


Figura 19. Comparación de tratamientos para la variable Dac

ANÁLISIS Y RESULTADOS PERIODO

Análisis Estadísticos Lineales Mixtos

En las Figuras 20 y 21 se presenta la evolución mensual del crecimiento en altura y Dac de las plantas de raulí ensayadas. Se observa que para ambas variables evaluadas la tendencia es la misma, es decir, las plantas de Raulí inoculadas con Morchella y ubicadas en el vivero, presentan los valores más altos de altura y dac en las cuatro mediciones. No obstante, las plantas ubicadas en el invernadero y sin inocular presentan los valores más bajos tanto para altura y dac en las cuatro evaluaciones. Se observa en el último periodo que las plantas testigos ubicadas a cielo abierto (vivero), presentan una altura y dac mayor que las plantas de invernadero inoculadas.

Altura de Raulí

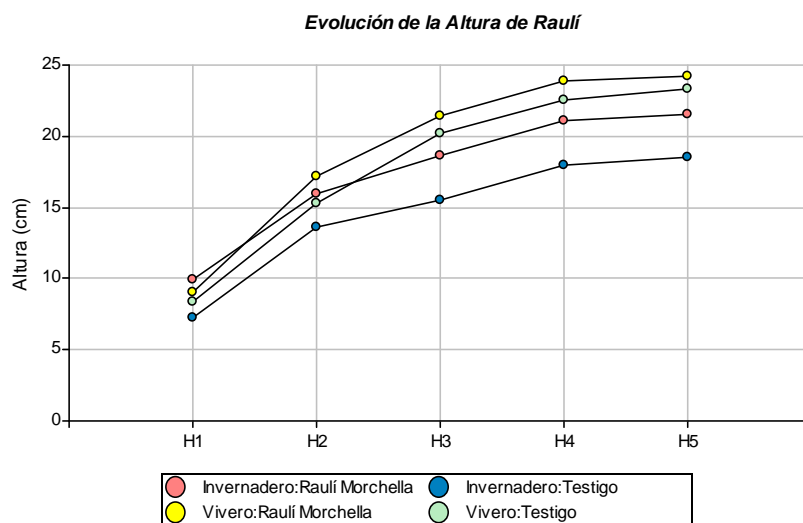


Figura 20. Perfiles temporales por tratamiento para la altura de Raulí.

Para analizar la variable Altura en el tiempo se probaron los modelos de Simetría compuesta (CS), Simetría Compuesta heterocedástico (CSH), Autoregresivo de orden 1 (AR1) y Autoregresivo heterocedástico de orden 1 (ARH1), solo los modelos CS y AR(1) alcanzaron los criterios de convergencia requeridos por SAS.

Tabla 1. Comparación de modelos mixtos empleados

| Modelo | Índice AIC | Índice BIC |
|--------|------------|------------|
| AR(1) | 8.005,4 | 8.003,6 |
| CS | 8.042,1 | 8.040,3 |

Como muestra la Tabla 1, el modelo que mejor se ajusta corresponde al Modelo AR(1), que presenta los menores valores en ambos índices.

Tabla 2. Resultados del Modelo de efecto Fijo AR(1)

| Efecto | GL | DF | Valor F | Pr > F |
|--------------------|----|-------|---------|---------|
| Tratamiento | 1 | 1 | 6,90 | 0,2316 |
| Tiempo | 4 | 1.308 | 124,00 | <0,0001 |
| Lugar | 1 | 1 | 10,06 | 0,1945 |
| Tratamiento*Tiempo | 4 | 1.308 | 0,04 | 0,9968 |

Se considera que para medidas repetidas en el tiempo y trabajos de campo un $p < 0,1$ representa diferencias estadísticamente significativas. En la Tabla 2, se observa que solo el efecto del tiempo es significativo para la variable altura.

Tabla 3. Comparaciones entre tratamientos del modelo AR(1)

| Tratamiento | Tratamiento | Estimación | Error Estándar | GL | Valor t | Pr > t |
|-----------------|-------------|------------|----------------|----|---------|---------|
| Raulí Morchella | Testigo | 1.8945 | 0,7213 | 1 | 2,63 | 0,2316 |

Como se observa en la Figura 20 y en la Tabla 3, no existen diferencias estadísticas significativas para la altura entre las plantas raulíes inoculados y aquellas no inoculadas durante todo el periodo de evaluación. No obstante, los mayores valores lo obtuvieron las plantas de raulí inoculadas con *Morchella* y ubicadas a cielo abierto (vivero) y los menores valores de altura lo obtuvieron las plantas de raulí sin inocular con *Morchella* y ubicadas a cielo cubierto (invernadero).

Dac de Raulí

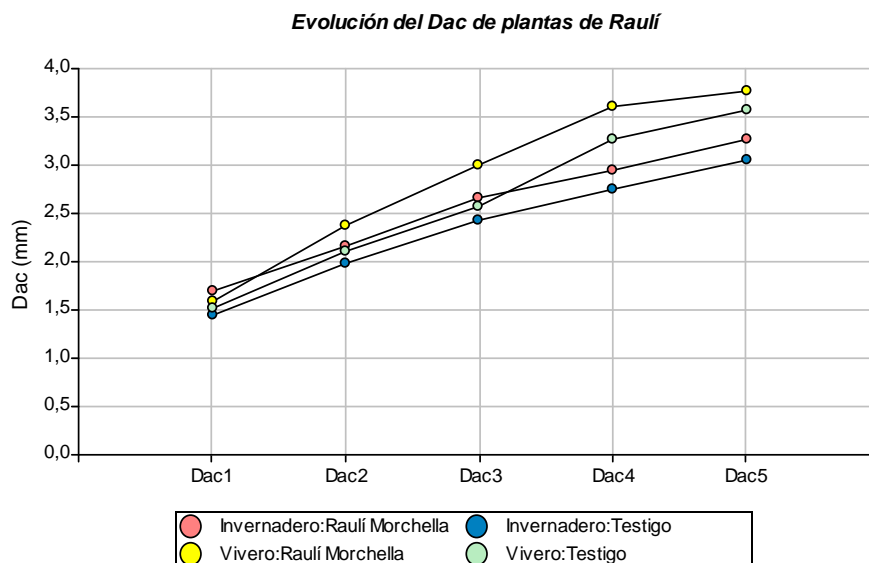


Figura 21. Perfiles temporales por tratamiento para el Dac de Raulí.

Para analizar la variable Dac en el tiempo se probaron los modelos de Simetría compuesta (CS), Simetría Compuesta heterocedástico (CSH), Autoregresivo de orden 1 (AR1) y Autoregresivo heterocedástico de orden 1 (ARH1), solo los modelos CS y AR(1) alcanzaron los criterios de convergencia requeridos por SAS.

Tabla 4. Comparación de modelos mixtos empleados

| Modelo | Índice AIC | Índice BIC |
|--------|------------|------------|
| AR(1) | 2.800,6 | 2.799,4 |
| CS | 2.801,4 | 2.800,2 |

Como muestra la Tabla 4, el modelo que mejor se ajusta corresponde al Modelo AR(1), que presenta los menores valores en ambos índices.

Tabla 5. Resultados del Modelo de efecto Fijo AR(1)

| Efecto | GL | DF | Valor F | Pr > F |
|--------------------|----|-------|---------|---------|
| Tratamiento | 1 | 1 | 22,09 | 0,1335 |
| Tiempo | 4 | 1.308 | 144,35 | <0,0001 |
| Lugar | 1 | 1 | 60,14 | 0,0816 |
| Tratamiento*Tiempo | 4 | 1.308 | 0,50 | 0,7363 |

Se considera que para medidas repetidas en el tiempo y trabajos de campo un $p < 0,1$ representa diferencias estadísticamente significativas. En la Tabla 5, se observa que el efecto del tiempo y el lugar son significativos para la variable Dac.

Tabla 6. Comparaciones entre tratamientos del modelo AR(1)

| Tratamiento | Tratamiento | Estimación | Error Estándar | GL | Valor t | Pr > t |
|-----------------|-------------|------------|----------------|----|---------|---------|
| Raulí Morchella | Testigo | 0,2442 | 0,05195 | 1 | 4,70 | 0,1335 |

Como se observa en la Figura 21 y en la Tabla 6, no existen diferencias estadísticas significativas para el Dac entre las plantas raulíes inoculados y aquellas no inoculadas durante todo el periodo de evaluación. No obstante, los mayores valores lo obtuvieron las plantas de raulí inoculadas con *Morchella* y ubicadas a cielo abierto (vivero) y los menores valores de dac lo obtuvieron las plantas de raulí sin inocular con *Morchella* y ubicadas a cielo cubierto (invernadero).

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación se puede concluir que:

- Las plantas de *Nothofagus alpina* inoculadas con *Morchella* y producidas en un contenedor de 135 cc de volumen, alcanzan una altura media mayor a 21 cm al final del periodo de viverización de una temporada. Las plantas *Nothofagus alpina* no inoculadas y producidas en un contenedor de 135 cc de volumen, alcanzan una altura media mayor a 18 cm al final del periodo de viverización de una temporada.
- Las plantas de *Nothofagus alpina* inoculadas con *Morchella* y producidas en un contenedor de 135 cc de volumen, alcanzan un Dac media mayor a 3,5 mm al final del periodo de viverización de una temporada. Las plantas *Nothofagus alpina* no inoculadas y producidas en un contenedor de 135 cc de volumen, alcanzan un Dac medio mayor a 3,3 mm al final del periodo de viverización de una temporada.
- Existen diferencias significativas en las plantas de raulí establecidas a cielo abierto (vivero) y cubierto (invernadero), presentando los mayores valores en altura y Dac las plantas ubicadas a cielo abierto.
- La interacción de los factores lugar - tratamiento, señala diferencias estadísticamente significativas en aquellas plantas de raulí inoculadas con morchella y ubicadas a cielo abierto o cubierto, las que presentan los mayores valores de altura y Dac.
- Las plantas de raulí que fueron inoculadas con *Morchella*, independiente si estas se encontraban en invernadero o vivero, presentaron los mayores valores de altura y dac, no obstante, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas durante el periodo de evaluación completo.
- La incorporación de inóculos de *Morchella* en plantas de Raulí permitirá ir reestableciendo ecosistemas que por diversas razones (económicas, ecológicas y/o sociales) ya no existen.
- La *Morchella* es un hongo nativo de alto valor, que permitiría incrementar los ingresos de una parte importante de la población rural del país que vive en las cercanías de bosques nativos de algunos tipos forestales (Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa y Ciprés de la Cordillera) o en lugares donde antes existían estas especies.

BIBLIOGRAFÍA

Molina, M.P.; Gutiérrez, B.; Ortiz, O.; Bello, A.; Navarrete, M. 2006. Diagnóstico de existencia, estado actual y final de áreas productoras de semillas establecidas con especies prioritarias para la diversificación forestal. PROYECTO INFOR-SAG. "Fuentes de Semilla Mejorada para las Especies Prioritarias en la Estrategia de Diversificación Forestal Nacional". INFOR. 32 p.