



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Máster

“EFECTOS DE DIFERENTES SUSTRATOS EN EL ÍNDICE DE ESBELTEZ
DE PLANTONES DE DOS SAVIAS DE *Pinus halepensis* Miller”

Autor

Juan Martín San Gil Castro

Director

Joaquín Aibar Lete

Escuela Politécnica Superior de Huesca

2014

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Joaquín Aibar Lete
por ayudarme a realizar este trabajo.

RESUMEN

El proceso de repoblación forestal es complejo debido a que una repoblación exitosa requiere el conocimiento de las características de rendimiento fisiológico y desarrollo morfológico de las especies utilizadas.

En este ensayo se analiza el efecto combinado de la calidad de planta y el procedimiento de preparación de sustratos en la producción de planta de *Pinus halepensis* Mill.

Se comparan los sustratos de uso común implantados en el mercado. Los tratamientos utilizados fueron elaborados en una proporción 10% con un componente orgánico (turba *Sphagnum*) y otro inorgánico (vermiculita y perlita).

Tras 18 meses de cultivo en vivero, las plantas se caracterizaron mediante atributos morfológicos (altura, diámetro, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz). Además, se evaluaron cuatro índices para determinar la calidad de la planta (Índice de Esbeltez, índice de tallo-raíz, índice de calidad de Schmidt-Vogt e índice de calidad de Dickson).

No se han encontrado diferencias significativas en los atributos morfológicos entre los tratamientos, pero se han encontrado diferencias de índice de esbeltez, siendo explicada significativamente por el aumento de materia orgánica en un sustrato. El sustrato con turba *Sphagnum* mostró mejor comportamiento para el índice de esbeltez.

Palabras clave: *calidad de planta, atributos morfológicos, repoblación forestal, vermiculita, perlita*

ABSTRACT

The forest regeneration process is complex because successful regeneration requires understanding of physiological performance and morphological development characteristics of species used.

The combined effect of substrate preparation and stock quality in a plant production of *Pinus halepensis* Mill. has been studied in this experiment.

The study compares substrates of common use in the market. Treatments used were elaborated in a 10% proportion with an organic (*Sphagnum* peat moss) and an inorganic (vermiculite and perlite) compound.

After 18-month cultivation in the nursery, morphological attributes were measured (height, diameter, shoot and root dry weight). Four indexes were also evaluated in order to determine the plant quality (slenderness index, stem root index, Schmidt-Vogt quality index and Dickson quality index).

The morphological attributes significantly difference among treatments has not been founded, but a slenderness index difference has been founded, significantly explained by the materia organica increased in a susbstrate. The substrate with *Sphagnum* peat moss presented the best behavior for the slenderness index.

Key words: *stock quality, morphological attributes, forest regeneration, vermiculite, perlite*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Antecedentes	10
1.2 Producción de planta en envase forestal.....	11
1.3 Calidad de la planta forestal.....	13
1.3.1 La calidad en la repoblación forestal.....	13
1.3.2 Reglamentación de la calidad de la planta forestal	14
1.4 La repoblación forestal en España.....	15
1.5 El mercado de planta forestal en España.	17
1.6 El mercado de sustratos en España.	19
2. OBJETIVOS	24
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	25
3.1 Material vegetal	25
3.2 Semillado y operaciones de cultivo.....	28
3.3 Contenedores.....	30
3.4 Diseño y ensayo de los sustratos	31
3.4.1 Componentes de los sustratos.....	31
3.4.2 Diseño experimental.....	36
3.5 Análisis de la calidad.....	40
3.5.1 Medición de los atributos morfológicos.	40
3.5.2 Protocolo de calidad.....	42
3.6 Análisis estadístico.....	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 Resultado de los atributos morfológicos	51
4.1.1 Medición de atributos morfológicos.....	51
4.1.2 Resultado del análisis de la calidad de planta.	63
4.1.3 Correlación de variables	93
4.2 Protocolo de calidad.....	111
5. CONCLUSIONES.....	117
6. BIBLIOGRAFÍA	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Serie histórica de repoblaciones por tipo y objetivo de repoblación, desde 1992 a 2010. Anuario de Estadística forestal 2010 (pag.15)

Tabla 2: Serie histórica de viveros forestales por comunidades autónomas. Anuario de Estadística Forestal 2008.(pag.19)

Tabla 3: Propiedades físicas y químicas. (Burés, 1997) (pag.32)

Tabla 4: Propiedades físicas de un sustrato ideal y de algunos sustratos comúnmente empleados en la producción de plantas ornamentales en maceta. (Olivo, 2006) (pag.32)

Tabla 5: Costes de los tratamientos objeto de estudio (pag.35)

Tabla 6: Tabla estadística de control general de plantas no conformes a las prescripciones(pag.49)

Tabla 7. Medición de diámetros en el cuello de la raíz (pag.55)

Tabla 8: Descriptivos de la variable diámetro en los cuatro tratamientos (pag.55)

Tabla 9. Análisis ANOVA de los diámetros (pag.57)

Tabla 10. Medición de alturas (pag.61)

Tabla 11: Descriptivos de la variable altura en los cuatro tratamientos.(pag.61)

Tabla 12. Análisis ANOVA de las alturas (pag.63)

Tabla 13. Recogida de datos de los atributos morfológicos e índices de calidad en los cuatro tratamientos (pag.65)

Tabla 14: Promedio de variables por cada uno de los tratamientos (pag.66)

Tabla 15: Desviación estándar de variables por cada uno de los tratamientos (pag.66)

Tabla 16: Descriptivos de la variable IE en los cuatro tratamientos (pag.66)

Tabla 17: Análisis Anova del Índice de esbeltez (pag.68)

Tabla 18. Análisis DMS del índice de esbeltez (pag.69)

Tabla 19. Análisis post hoc del índice de esbeltez..(pag. 70)

Tabla 20: Descriptivos de la variable Schmidt-Vogt en los cuatro tratamientos. (pag.71)

Tabla 21: Análisis Anova del Índice de Schmidt-Vogt. (pag.73)

Tabla 22: Descriptivos de la variable ITR en los cuatro tratamientos (pag.74)

Tabla 23: Análisis Anova del Índice tallo raíz (pag.76)

Tabla 24: Descriptivos de la variable QI en los cuatro tratamientos (pag.77)

Tabla 25: Análisis Anova del Índice de Dickson (pag.79)

Tabla 26: Descriptivos de la variable diámetro en los cuatro tratamientos (pag.80)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Serie histórica de repoblaciones desde 1948 a 2010. Anuario de Estadística forestal 2010 (pag.16)

Figura 2: Ejemplar de *Pinus halepensis*. Jorge Martínez Huelves (pag.25)

Figura 3: Detalle de piñas. Jorge Martínez Huelves.(pag.26)

Figura 4: Umbráculo utilizado. Elaboración propia.(pag.27)

Figura 5: Región de procedencia ES06 Monegros- Depresión del Ebro. (Serrada 2005) (pag.28)

Figura 6: Detalle de los alveolos. Elaboración propia (pag.30)

Figura 7: Costes de los tratamientos objeto de estudio. (pag.35)

Figura 8: Detalle de la planta. Elaboración propia (pag.42)

Figura 9: Ejemplo de estadillo del protocolo de calidad (pag.48)

Figura 10: Gráfica de la prueba de normalidad en la variable diámetro (mm) (pag.56)

Figura 11: Histograma y ajuste a curva normal de la variable diámetro (mm) (pag.56)

Figura 12: Gráfica de la prueba de normalidad (pag.62)

Figura 13: Histograma y ajuste a curva normal de la variable altura (mm) (pag.62)

Figura 14: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable IE (pag.67)

Figura 15: Histograma y ajuste a curva normal de la variable IE..(pag.68)

Figura 16: barras de error inferenciales del índice de Esbeltez (pag.71)

Figura 17: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable Schmidt-Vogt (pag.72)

Figura 18: Histograma y ajuste a curva normal de la variable Schmidt-Vogt (pag.73)

Figura 19: barras de error inferenciales del índice de Schmidt-Vogt.(pag.74)

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

- Figura 20: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable ITR (pag.75)
- Figura 21: Histograma y ajuste a curva normal de la variable ITR (pag.76)
- Figura 22: barras de error inferenciales del índice de tallo raíz (pag.77)
- Figura 23: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable QI (pag.78)
- Figura 24: Histograma y ajuste a curva normal de la variable QI (pag.79)
- Figura 25: barras de error inferenciales del índice de Dickson (pag.80)
- Figura 26: Gráfica de la prueba de normalidad en la variable diámetro (mm) (pag.81)
- Figura 27: Histograma y ajuste a curva normal de la variable diámetro (mm) (pag.82)
- Figura 28: Barra de errores del diámetro en todos los tratamientos (pag.83)
- Figura 29: Gráfica de la prueba de normalidad de la altura (pag.84)
- Figura 30: Histograma y ajuste a curva normal de la variable altura (mm).(pag.85)
- Figura 31: Barra de errores de la altura en todos los tratamientos.(pag.86)
- Figura 32: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable peso seco de la parte aérea (pag.87)
- Figura 33: Histograma y ajuste a curva normal de la variable peso seco de la parte aérea (pag.88)
- Figura 34: Barra de errores del peso seco de la parte aérea en todos los tratamientos (pag.89)
- Figura 35: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable peso seco de la raíz (pag.90)
- Figura 36: Histograma y ajuste a curva normal de la variable peso seco de la raíz.(pag.91)
- Figura 37: Barra de errores del peso seco de la raíz en todos los tratamientos (pag.92)
- Figura 38: Regresión diámetro cuello raíz- altura. (pag. 97)
- Figura 39: Regresión Diámetro cuello raíz- Peso seco de la parte aérea (PSA) (pag. 98)
- Figura 40: Regresión diámetro cuello raíz- peso seco de la raíz (pag. 98)
- Figura 41: Regresión diámetro cuello raíz- Índice de Esbeltez.(pag. 99)
- Figura 42: Regresión Diámetro cuello raíz- índice de Schmidt-Vogt (pag. 100)
- Figura 43: Regresión diámetro cuello raíz- ITR (pag. 101)
- Figura 44: Regresión diámetro cuello raíz- índice de Dickson (pag. 101)
- Figura 45: Regresión altura- índice de Esbeltez (pag. 103)

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Figura 46: Regresión altura- índice de Schmidt-Vogt (pag. 103)

Figura 47: Regresión altura- Peso seco parte aérea (pag. 103)

Figura 48: Regresión altura- peso seco raíz (pag. 103)

Figura 49: Regresión altura- ITR (pag. 104)

Figura 50: Regresión altura- índice de Dickson (pag. 104)

Figura 51: Regresión Índice de Esbeltez- PSA.(pag. 105)

Figura 52: Regresión Índice de Esbeltez- PSR (pag.105)

Figura 53: Regresión Índice de Esbeltez- ITR (pag. 105)

Figura 54: Regresión IE- índice de Schmidt-Vogt (pag. 106)

Figura 55: Regresión Índice de Esbeltez- índice de Dickson (pag. 106)

Figura 56: Regresión PSA - PSR (pag. 107)

Figura 57: Regresión PSA - ITR (pag. 107)

Figura 58: PSA - índice de Dickson (pag. 107)

Figura 59: Regresión PSR –ITR (pag. 107)

Figura 60: Regresión PSR e Índice de Dickson (pag. 108)

Figura 61: Regresión (PSA) - índice de Schmidt-Vogt (pag. 109)

Figura 62: Regresión QI - índice de Schmidt-Vogt. (pag. 110)

Figura 63: Regresión ITR - índice de Schmidt-Vogt (pag. 110)

Figura 64: Regresión tallo-raíz e índice de Dickson (pag. 111)

Figura 65: Resultado de protocolo de calidad en el tratamiento 1 (pag.113)

Figura 66: Resultado de protocolo de calidad en el tratamiento 2 (pag. 114)

Figura 67: Resultado de protocolo de calidad en el tratamiento 3 (pag. 115)

Figura 68: Resultado de protocolo de calidad en el tratamiento 4 (pag. 116)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Uno de los problemas que se encuentran al realizar una repoblación forestal es el porcentaje de marras que se vayan a producir. Este porcentaje influye en el precio final de ejecución ya que puede ser motivo de sanción para la empresa a la que se le han contratado los servicios de plantación o para el propietario del predio que se ve obligado a realizar una reposición con el correspondiente incremento de costes.

Por ello la producción de planta forestal en envase tiende a conseguir productos de mayor calidad que disminuyan estos porcentajes de marras dentro de lo posible, ya que éste va a depender de otros factores como la climatología, la preparación del terreno, el manejo de la planta y su colocación. Las repercusiones negativas del empleo de plantas de baja calidad van a veces más allá de las primeras fases de su arraigo, pudiendo afectar a la obra pasados muchos años (Villar, 2003 a).

Ya existe por parte de la administración forestal una serie de características que la planta que va a ser colocada en el monte tiene que cumplir. Así se controla, entre otras cosas, la calidad del material que llega de una forma clara y medible.

El origen genético, el estado sanitario y las características morfológicas y fisiológicas establecidas durante el proceso de cultivo en vivero, conforman la calidad de una planta. (Villar, 2003 b). La influencia que los diferentes atributos pueden tener en la respuesta de la planta en monte.(Grossnickle, 2012).

A la hora de medir las características morfológicas de una planta forestal de vivero se tiene que tener en cuenta dos tipos de clasificaciones según los atributos que tengamos en cuenta (Chavasse, 1980; Duryea, 1985):

- Atributos materiales: cualidades morfológicas.
- Atributos de respuesta: tolerancia al frío, sequía,...

Las características morfológicas de nuestras plantas forestales de vivero van a depender de las características genéticas de la especie, las condiciones del vivero y de las prácticas de cultivo que utilicemos (Mexal y Landis, 1990).

Se ha avanzado en el conocimiento de los protocolos de producción de planta para numerosas especies forestales y en la definición de unas ventanas de calidad o rangos de variación para algunos atributos, que pueden expresar o predecir la respuesta de la planta en el monte como ha quedado ampliamente se recoge en algunas publicaciones monográficas (Cortina *et al.*, 2006; Pemán *et al.*, 2012). El objetivo de establecer estas ventanas de calidad es servir de orientación para el usuario final y para el viverista, al permitirle estandarizar el cultivo de la especie.

La selección habitualmente implica la medición de la altura y el diámetro de las plantas cultivadas en vivero. Cada especie tiene fijados unos rangos (en el caso de la altura) o un valor mínimo a superar (en el caso del diámetro) (Mexal y Landis, 1990), de tal forma que las plantas que no cumplan las especificaciones fijadas son rechazadas.

El origen genético y la calidad morfo-fisiológica de las plantas son factores que juegan un papel esencial en el éxito de un proyecto de revegetación (Peñuelas, 1993).

Sin embargo, una vez que el brinzal sale del vivero para su plantación, estos parámetros pueden verse alterados, afectando negativamente al establecimiento de la planta en campo (Gómez y Ocaña, 1997).

En este trabajo se ha tratado de mantener constante tanto las características genéticas como las condiciones de vivero para poder modificar dentro de las prácticas de cultivo la composición de los sustratos donde se realiza la siembra, y con esta variación ver si existe algún efecto sobre el índice de esbeltez.

1.2 Producción de planta en envase forestal.

El uso de contenedores especialmente diseñados para la producción de planta forestal es una actividad relativamente reciente en nuestro país. La planta a raíz desnuda se utiliza masivamente en las zonas más húmedas de nuestro territorio, mientras que la bolsa de plástico, hasta hace poco tiempo, ha sido mayoritariamente utilizada en las regiones más secas. Los problemas de deformaciones radicales que plantea la bolsa de plástico y la necesidad de una mejora en la calidad de la planta ha provocado un cambio hacia la utilización de contenedores especiales. (Dominguez, 1997).

Hasta hace pocos años, la planta para repoblaciones era producida casi exclusivamente a raíz desnuda. Este sistema de producción presenta una serie de ventajas,

ya que favorece el desarrollo natural y equilibrado del sistema radical y aéreo, y es válido, sobre todo, para los viveros de zonas frescas y a poca distancia del territorio a repoblar y para especies de crecimiento en sus primeras edades no muy rápido. (Marcelli, 1984). Se manifiestan diferencias morfológicas y fisiológicas en los sistemas radicales de las plantas cultivadas en envase con respecto a las sembradas. (Domínguez *et al.*, 2001).

Sin embargo, presenta una serie de inconvenientes: exige importantes superficies y unos requisitos concretos de suelo y situación (Tinus y Owston, 1984), un trabajo laborioso y de aplicación de tratamientos (Cousin y Lanier, 1976) y sobre todo no es aconsejable en las estaciones cálidas y áridas, características del clima mediterráneo, debido a los problemas de deshidratación de la planta, acusados por los inevitables desgarros y amputaciones producidos en los repicados (Marcelli, 1984) y a su fragilidad, con lo que debe de protegerse contra la sequedad y observar especial cuidado en la manipulación hasta el lugar de la plantación (Cousin y Lanier, 1976).

En contenedor no se detectan problemas de anclaje o falta de vigor en las plantas cultivadas (Domínguez *et al.*, 2001), con lo que el número de marras es independiente al sistema de cultivo en contenedor. La producción de planta en contenedor mejora estos aspectos, puesto que aminora la crisis postransplante, ya que el sistema radical inicial se conserva íntegramente y no hay interrupción en la alimentación de la planta (Marien y Drovin, 1978) reduciéndose la llamada crisis postransplante (Marcelli, 1984), mantiene la humedad durante el transporte del vivero al campo protegiendo a la planta contra el estrés hídrico, está menos expuesta a los daños mecánicos, permite controlar la micorrización (Marcelli, 1989; Riedacker, 1986) y alarga el periodo de plantación gracias a una velocidad de colonización más elevada (Riedacker, 1986), teniendo también aceptación en las zonas más frías donde la nieve está presente hasta bien entrada la primavera (Marcelli, 1984). Además las plantas en contenedor han mejorado la supervivencia y el crecimiento inicial de muchas plantaciones (Tinus y Owston, 1984).

Una de las principales características que distingue la producción de planta en contenedor con respecto a la raíz desnuda, es el aumento en el control de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, riego, luz,...), además de la posibilidad de producir cultivos en cualquier época del año (Tinus y Owston; 1984) y el especial cuidado en la manipulación hasta el lugar de la plantación (Cousin y Lanier, 1976).

1.3 Calidad de la planta forestal.

1.3.1 La calidad en la repoblación forestal

El proceso de repoblación forestal es bastante complejo, ya que implica numerosos factores, cada uno de los cuales debe ser comprendido de forma individual, y conocidas sus relaciones con otros factores con los cuales interactúa. La forma de evaluar de manera integral el resultado de estos factores es mediante el control de calidad. (Serrada *et al.*, 2005).

La calidad de la planta es uno de los componentes más importantes de los que depende el éxito de la restauración de una cubierta vegetal. (Villar, 2003).

A la hora de hablar de calidad dentro de la producción de planta forestal, se tiene que tener en cuenta que es uno de los componentes más importantes de los que depende el éxito de la restauración de una cubierta forestal. Está determinada por sus características morfológicas, fisiológicas, genéticas y sanitarias. Atributos morfológicos como la altura, el diámetro en el cuello de la raíz, el peso seco radical o el ratio peso seco aéreo/peso seco radical, permiten describir la arquitectura hidráulica de la planta y pueden ayudar a definir cuál es la más apropiada para cada especie y estación. (Grossnickle, 2012).

La fase de vivero resulta esencial por ser el punto de partida, además de ser el único momento en el que es posible realizar un control sobre algunas variables del proceso que afectan a la producción de planta. Por este motivo, la calidad puede ser “moldeada” en este modo de cultivo en vivero, siendo la fertilización, el contenedor, el sustrato, y su manejo los elementos de cultivo que más la condicionan.

Debido a la relación que existe entre la producción de planta forestal y la calidad, se establecen una serie de protocolos por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En estos protocolos se establece que un punto de partida; para obtener una masa forestal mediante la técnica de plantación, es muy importante tener una buena calidad de planta. Las plantas de buena calidad soportan mejor el transporte, la plantación y las condiciones adversas tras la puesta en campo lo disminuirá el porcentaje de marras, aumentará los índices de crecimiento vegetativo temprano y disminuirá los costes de la intervención.

Para medir la calidad de una planta forestal se utilizan tanto atributos fisiológicos como morfológicos, tomando como referencia los criterios morfológicos de calidad del REAL

DECRETO 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción.

1.3.2 Reglamentación de la calidad de la planta forestal

En el anexo VII del REAL DECRETO 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción se fijan los requisitos de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción.

En su PARTE E, Requisitos aplicables a las plantas comercializadas para el consumidor final en regiones de clima mediterráneo, nos indica que la planta forestal debe ser comercializada con un mínimo del 95 por 100 de cada lote sea de calidad cabal y comercial y estableciendo unos criterios de calidad:

1. No se considerará de calidad cabal y comercial las plantas que presenten algunos de los siguientes defectos:

- a) Heridas distintas de las causadas por la poda o heridas debidas a los daños de arranque.
- b) Ausencia de yemas susceptibles de producir un brote apical.
- c) Tallos múltiples.
- d) Sistema radicular deformado.
- e) Signos de desecación, recalentamiento, enmohecimiento, podredumbre o daños causados por organismos nocivos.
- f) Desequilibrio entre la parte aérea y la parte radical.

2. Dimensiones de las plantas:

a) Especies que figuran en el anexo I.

Especie	Edad máxima (años)	Altura mínima (cm)	Altura máxima (cm)	Diámetro mínimo del cuello de la raíz (mm)
Pinus halepensis	1 2	8 12	25 40	2 3

3. Tamaño del contenedor, si se utiliza.

Especie	Volumen mínimo del contenedor (cm ³)
Pinus pinaster	120
Otras especies	200

1.4 La repoblación forestal en España.

En la actualidad la repoblación forestal ha pasado a ser sido la práctica de restauración ecológica a gran escala más extendida en la mayoría de países mediterráneos.

La repoblación forestal en España resulta ser compleja y muy diversa.

Años	Forestación tierras agrícolas (Ha)	Repoblaciones protectoras (ha)			Repoblaciones productoras (ha)		
		1ª Repoblación	2ª Repoblación	TOTAL	1ª Repoblación	2ª Repoblación	TOTAL
1992		29.088	8.948	38.036	11.520	12.548	24.068
1993		33.158	13.691	46.849	19.652	13.965	33.617
1994	57.046	28.086	7.665	35.751	21.898	7.012	28.910
1995	79.394	58.456	11.005	69.461	50.940	2.753	53.693
1996	96.584	86.107	15.526	101.633	19.336	4.871	24.207
1997	89.122	95.575	5.382	100.957	23.792	3.449	27.241
1998	83.669	58.599	8.416	67.015	23.085	4.138	27.223
1999	54.389	55.497	6.520	62.017	10.880	4.454	15.334
2000	62.125	43.379	3.572	46.952	12.621	2.879	15.500
2001	37.230	24.948	3.202	28.150	13.591	732	14.323
2002	21.739	32.685	5.248	37.934	16.211	1.665	17.876
2005	20.682	14.919	3.502	24.837	1.535	1.968	4.514
2006	22.077	16.520	22.635	39.155	2.302	9.098	11.399
2007	16.966	7.160	17.204	24.364	8.862	3.816	12.678
2008	16.087	10.391	13.614	24.005	2.492	1.088	3.580
2009	13.623	6.469	10.739	17.208	768	1.330	2.098
2010	11.338	4.488	2.552	7.040	284	1.885	2.168

Tabla 1: Serie histórica de repoblaciones por tipo y objetivo de repoblación, desde 1992 a 2010. Anuario de Estadística forestal 2010.

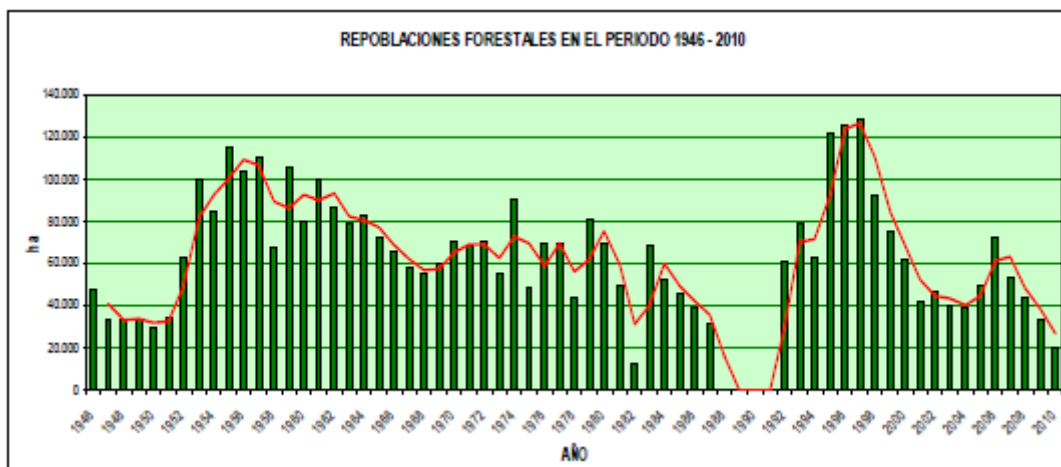


Figura 1: Serie histórica de repoblaciones desde 1948 a 2010. Anuario de Estadística forestal 2010.

El territorio español ha sufrido a lo largo de la historia y aún hoy mismo padece: aprovechamientos maderables y de leñas abusivos; roturaciones de terrenos forestales para cultivos agrícolas; pastoreo excesivo por las cargas o épocas; e incendios forestales. Estas cuatro causas de destrucción de los bosques han conducido a que en la actualidad, aproximadamente, el 50% de la superficie forestal, unos 13 millones de hectáreas, esté desarbolado. (Serrada, 1995). De esta superficie, entre 7 y 8 millones de hectáreas están sufriendo una erosión hídrica grave o muy grave, por lo que la necesidad de las repoblaciones forestales protectoras es evidente.

Por otra parte, la balanza exterior comercial española de productos de la madera y derivados es deficitaria de manera que, en números redondos, se necesita importar en una cantidad similar a un tercio de lo que se produce. La alta potencialidad productiva de algunas zonas del país, especialmente la Cornisa Cantábrica, permite y aconseja la realización de repoblaciones productoras a las que aplicar una silvicultura intensiva. Las estimaciones de superficie aptas y necesarias para estos fines son variadas, estando las más razonables en torno a las 300.000 o 400.000 ha

1.5 El mercado de planta forestal en España.

El mercado de la planta forestal tiene unas características muy marcadas:

- Estancamiento de los precios de venta de las especies forestales frente al incremento de los costes de mantenimiento de infraestructuras y personal.
- La fuerte competencia de empresas públicas que repercute en la escasa creación de empresas privadas en el sector forestal.
- La administración gestiona la comercialización del material vegetal en cuanto a regiones de procedencia, certificación, etc, a la vez que comercializa e impone su planta.
- Falta de competitividad en precio de la planta de origen privado frente a las empresas públicas.
- Gran dependencia climática del cultivo y la posterior repoblación.

Otra característica del mercado de planta forestal es la poca referencia temporal que tiene el comprador en cuanto al resultado del material que está adquiriendo. Cuando se compra planta forestal, la única referencia de valoración es el precio, los resultados se verán siglos más tarde. Por este motivo, la mayoría de los países, han establecido unos criterios para valorar la idoneidad de la planta forestal:

- Calidad genética
- Calidad exterior

El usuario del material de reproducción (semillas, plantas o partes de plantas) cuando compra un material busca que éste cumpla una serie de requisitos respecto a su calidad exterior, y unas características genéticas que le haga adecuado para su empleo en las condiciones de plantación. Únicamente la calidad exterior (pureza, germinación, etc. en el caso de semillas; tamaño, forma, en caso de plantas) es verificable en el momento de la compra. La calidad genética del material (origen, diversidad genética, valor de mejora, etc.) va a condicionar no solamente la producción, sino también las posibilidades de adaptación a las condiciones del medio en el que se implante. Los plazos de producción de las especies forestales impiden al utilizador evaluar por sí mismo en el momento de la compra del material de reproducción, su identidad o su calidad genética. Es decir, que la plantación que realice un propietario en un monte determinado, lo más posible es que en el curso de su vida no pueda comprobar el resultado, a no ser que se trate de una especie de crecimiento rápido, o que dé lugar a una gran mortalidad resultado de una falta de adaptación al lugar

de plantación. Esta calidad sin embargo no es comprobable y únicamente está garantizada por la autenticidad del documento (etiqueta o certificado) que acompaña al material.

Por estos motivos, la mayoría de los países han establecido una serie de normas con las que se regula la producción y comercialización de los materiales forestales de reproducción. Las normas por tanto surgen como una medida de *protección al usuario*, por el hecho anteriormente señalado de la imposibilidad de comprobación de la calidad genética en el momento de su comercialización. Estas regulaciones se refieren básicamente a la *calidad genética* de los materiales y, en algunos casos, a la *calidad exterior*.

Los sistemas de certificación establecidos estructuran las calidades en distintos niveles en función de la selección operada y dan una garantía, comprobada en su caso mediante ensayos, de que la utilización del material forestal de reproducción mejorado va a suponer un aumento en la producción. Es la Administración la que en la mayoría de los países, se responsabiliza del establecimiento de una serie de normas que identifican al material, catalogándole en varias *categorías* y garantizando, mediante el establecimiento de un *sistema de control*, que la identidad del material (relativa a su origen y correspondencia con los materiales de base de los que procede) se mantiene a lo largo de los procesos que se desarrollan desde que el fruto es recolectado, hasta que se transforma en planta.

En España se comercializa según el R.D. 289/2003, de 7 de marzo. Este Real Decreto corresponde a la trasposición de la directiva 1999/105/CE. Deroga las OO.MM. 3079 y 3080 de 21 de enero de 1989 (correspondientes a las Directivas 66/404 y 71/161), el R.D. 1356/1998 y la legislación de aquellas comunidades autónomas que regulan la comercialización de materiales de reproducción de especies incluidas entre las reguladas por este Real Decreto.

La trasposición fue realizada en el seno del Comité de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos Forestales, establecido en aplicación de la Estrategia Forestal Española, como órgano de coordinación entre las Administraciones. El texto definitivo se aprobó en junio de 2002, y finalmente, tras su tramitación reglamentaria, fue aprobado, con rango de Real Decreto, el 7 de marzo de 2003.

A continuación se dan los datos de evolución de la presencia de viveros de planta forestal que se presentaron en el Anuario de Estadística Forestal del 2008.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Comunidad Autónoma	Número de viveros									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2005*	2006*	2007	2008
Galicia	76	40	32	34	22	22	7	-	-	-
P. de Asturias	16	14	16	16	16	16	8	4	-	-
Cantabria	6	6	6	6	7	6	4	4	4	1
País Vasco	80	75	63	71	78	67	-	1	3	33
Navarra	7	7	6	6	6	6	9	11	11	6
La Rioja	4	4	4	4	4	4	-	3	4	8
Aragón	25	24	79	30	27	26	6	5	5	1
Cataluña	30	43	2	28	29	40	13	18	28	27
Baleares	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Castilla y León	89	58	19	68	55	48	-	101	69	97
Madrid	12	13	-	-	2	4	-	1	25	13
Castilla-La Mancha	114	41	35	36	96	96	7	20	20	180
C. Valenciana	20	5	3	18	21	-	12	12	9	11
R. de Murcia	11	13	4	4	4	-	4	5	4	13
Extremadura	19	10	-	-	-	-	25	-	-	-
Andalucía	12	12	10	12	7	-	6	-	-	11
Canarias	7	7	9	7	7	7	8	12	9	6
ESPAÑA	529	373	289	341	382	343	110	198	192	408

Tabla 2: Serie histórica de viveros forestales por comunidades autónomas. Anuario de Estadística Forestal 2008.

1.6 El mercado de sustratos en España.

Se entiende como sustrato de cultivo el material sólido distinto de suelos «in situ», donde se cultivan las plantas y componente de sustrato de cultivo al material que es adecuado para ser utilizado como ingrediente de un sustrato de cultivo.

La regulación de los sustratos se inicia en 2010 debido a la inexistencia de normativa comunitaria ni nacional específica sobre estos productos. Si que había existido un gran esfuerzo por normalizar el sector a través de normas técnicas UNE, EN e ISO de cumplimiento voluntario.

Es cierto que tendrían que estar dentro del Reglamento (CE) n.º 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, relativo a los abonos que regula los fertilizantes tipificados como «abonos CE», para su libre circulación por la Unión Europea, pero en este Reglamento se quedan fuera algunos productos agrícolas, con lo que se tratan de regular a través del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Pero en el artículo 3 del citado Real Decreto se excluyen los sustratos y se indica que se regularán mediante normativa específica.

Es en 2010 cuando a nivel nacional se crea, con el fin de garantizar que los sustratos que se ponen en el mercado sean agrónomicamente eficaces y que eviten sus posibles efectos nocivos en el agua, el suelo, la flora, la fauna y el ser humano, una **normativa básica** a través de la aprobación del **Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo**.

En la normativa básica se establecen desde un inicio una serie de productos que no pueden considerarse componentes de un sustrato:

- a) Las enmiendas del suelo reguladas por el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.
- b) Los estiércoles que no hayan sufrido algún proceso de transformación en una planta técnica, de compostaje o de biogás, tal como se describen en el Reglamento (CE) n.º 1774/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, cuando se comercialicen a granel.
- c) Los lodos de depuradora previstos en el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
- d) Cualquier otro producto que tenga una reglamentación específica, comunitaria o nacional.

Los requisitos que se establecen para poder considerar un producto componente de un sustrato son:

- a) Que permita el desarrollo de las plantas de manera eficaz.
- b) Que se disponga de métodos adecuados de toma de muestras y de análisis y de ensayo para comprobar sus características y cualidades.
- c) Que, en condiciones normales de uso, no produzca efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.
- d) Que no sea portador de plagas ni patógenos causantes de enfermedades de los vegetales.
- e) Que esté libre de semillas y propágulos de malas hierbas.

En el Real Decreto se establecen cinco grupos y tipos de sustratos de cultivo y componentes de los mismos.(ANEXO I del **Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo**).

a) Grupo 1: productos orgánicos como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

1.1 Compost: Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de materiales orgánicos biodegradables del Anexo V, bajo condiciones controladas.

1.2 Compost de restos del cultivo de hongos. Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de restos del sustrato del cultivo de setas o champiñón, bajo condiciones controladas.

1.3 Compost de estiércol. Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de estiércol con o sin adición de materiales vegetales, bajo condiciones controladas.

1.4 Compost vegetal. Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de restos de poda, hojas, hierba cortada y restos vegetales, bajo condiciones controladas.

1.5 Corteza de pino envejecida. Producto procedente de corteza de pinos de diferentes especies envejecida después de su obtención.

1.6 Corteza de pino comportada. Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, formado exclusivamente por corteza procedente de pinos de diferentes especies.

1.7 Corteza de pino esterilizada por aire caliente. Producto procedente de la corteza de pino de diferentes especies, higienizada y estabilizada, obtenido mediante un proceso industrial de esterilización por aire caliente

1.8 Fibra o corteza de coco. Producto procedente de corteza de coco.

1.9 Fibra de madera. Producto obtenido por procedimiento mecánico con o sin vapor, a partir de maderas no tratadas químicamente.

1.10 Turba de Sphagnum. Material orgánico procedente de turberas altas, formadas principalmente por musgos del género Sphagnum.

1.11 Turba herbácea. Material orgánico procedente de turberas bajas, formadas por especies herbáceas (Carex, Phragmites, etc.).

1.12 Vermicompost o humus de lombriz. Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas.

1.13 Cáscara de arroz. Producto procedente de la cáscara o cascarilla del fruto del arroz (Oryza sativa). Puede ser usada directamente o tratada.

b) Grupo 2: productos minerales como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

2.1 Arcilla. Material mineral silicatado procedente de depósitos naturales.

2.2 Arcilla cocida. Producto obtenido por calentamiento de gránulos de arcilla.

2.3 Arcilla expandida. Producto obtenido por granulado, calentamiento y expansión de las partículas de arcilla.

2.4 Arcilla granulada. Material mineral silicatado procedente de depósitos naturales y tratada mediante un proceso de granulación.

2.5 Arena y gravillas. Partículas minerales procedentes de depósitos naturales.

2.6 Arena y gravillas silíceas. Partículas minerales silicatadas e inertes.

2.7 Arenas y gravillas volcánicas. Partículas minerales procedentes de material volcánico expandido de forma natural. Puede ser triturado.

2.8 Cerámica triturada. Producto procedente de la trituración de ladrillos u otros materiales de construcción a base de arcillas cocidas.

2.9 Perlita. Material granular fabricado a partir de roca volcánica hidratada natural, expandido con calor para dar lugar a una estructura celular.

2.10 Grava. Partículas minerales procedentes de depósitos naturales.

2.11 Grava volcánica . Picón, lava triturada o grava volcánica porosa. Producto procedente de material volcánico expandido de forma natural. Puede ser triturado.

2.12 Recuperado de construcción y demolición (RCD). Producto procedente de la trituración de restos de construcción y demolición (RCD) previamente seleccionados.

2.13 Sepiolita. Silicato natural hidratado.

2.14 Tierra natural. Partículas minerales de arcilla, limo y arena que se encuentran de forma natural .

2.15 Vermiculita. Material granular fabricado a partir de minerales de mica hidratados naturales, expandido/exfoliado con calor para dar lugar a una estructura laminar.

c) Grupo 3: productos de síntesis como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

3.1 Espuma de urea formaldehído. Producto obtenido por copolimerización de urea y formaldehído, en forma de espuma granular.

3.2 Lana mineral granulada. Producto obtenido por hilado y granulado de lana mineral.

3.3 Poliestireno expandido. Producto expandido obtenido a partir de la expansión del poliestireno.

d) Grupo 4: productos preformados como sustratos de cultivo.

4.1 Espuma de polifenol (rígida no granular). Producto obtenido por polimerización de dos o más grupos hidroxil polifuncionales, que contienen componentes con di- o polifenoles, para dar lugar a un material orgánico sintético, no granular.

4.2 Espuma de poliuretano (rígida no granular). Producto obtenido por polimerización de dos o más grupos hidroxil polifuncionales, que contienen componentes con di- o poli-isocianatos, para dar lugar a un material orgánico sintético, no granular.

4.3 Espuma de urea formaldehído (rígida no granular). Producto obtenido por copolimerización de urea y formaldehído, en forma de espuma rígida, no granular.

4.4 Lana mineral (rígida no granular). Producto obtenido por hilado de lana mineral, para dar lugar a un material mineral no granular.

e) Grupo 5: sustratos de cultivo de mezcla.

5.1 Sustrato de mezcla. Producto obtenido mediante mezcla de dos o más componentes de sustratos de cultivo descritos en las tablas de los Grupos 1,2 y 3.

5.2 Tierra vegetal. Producto obtenido por mezcla de tierra natural, arenas y gravillas, gravas o productos orgánicos descrito en las tablas del Grupo 1.

De esta normativa se deriva que no podemos considerar sustrato o componente de un sustrato cualquier material que no se encuentre dentro de uno de estos grupos y además cumpla con las obligaciones de denominación, descripción, especificaciones y declaraciones obligatorias que se especifican en el anexo I del citado decreto.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo se basan en el estudio de la influencia de los sustratos en la calidad de la planta forestal. Concretamente, el presente trabajo fin de master pretende estudiar si la variación de composición de los sustratos producidos a base de turba rubia como componente orgánico y variaciones de perlita y vermiculita como componentes inorgánicos, en la producción de planta en envase de *Pinus halepensis* Mill., tienen un efecto sobre la calidad y los atributos morfológicos de la planta, en los volúmenes de contenedor y condiciones de cultivo propuestos.

Estudiar las relaciones que se dan entre los atributos morfológicos (diámetro en el cuello de la raíz, altura de la planta, peso seco de la parte aérea y peso seco de la parte radicular) y los índices que miden la calidad (índice de Esbeltez, índice de tallo-raíz, índice de Schmidt-Vogt e índice de Dickson) en cada uno de los tratamientos propuestos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal

Según (Ruiz de la Torre y Ceballos, 1979), el *Pinus halepensis* Miller, comúnmente llamado pino carrasco, se trata de un pino de talla mediana alcanzando hasta 20 o 22 m y de porte variable que va de muy tortuosos en condiciones extremas a recto en buenas condiciones, en cuyo caso el tronco es recto y bastante cilíndrico. La copa, de apariencia esclarecida, inicialmente es piramidal y a partir de los 20 años va tomando una forma globosa. La corteza es de un tono pardo claro, ms oscura en las grietas que va formando al envejecer el árbol.



Figura 2 : Ejemplar de *Pinus halepensis*. Jorge Martínez Huelves

Las ramas son delgadas y largas, horizontales las mas inferiores y casi verticales las restantes. Hojas aciculares agudas pero no pinchudas, agrupadas normalmente de 2 en 2. Son finas y flexibles, de color verde claro, con una longitud de entre 6 y 12 cm y duran unos dos años.

Florece de marzo a mayo madurando la piña a finales del segundo verano. Esta es alargada y tiene una longitud de entre 6 y 12 cm, presentándose recurvada en un pedúnculo de uno o dos centímetros. La semilla es un piñón gris oscuro provisto de un ala tres veces

más larga que el. La piña puede permanecer cerrada unos cuantos años hasta que por el calor generado en un incendio se abre para así sembrar la zona quemada.



Figura 3: Detalle de piñas. Jorge Martínez Huelves

Es un pino bien adaptado a terrenos calizos y secos, tolerando suelos calcáreos y margosos, incluso cuando hay yeso. Se da en zonas de depósitos terciarios o cuaternarios tanto en sustrato calcáreo como esquistoso, si bien huye de terrenos muy arenosos. También se da en terrenos impermeables, esqueléticos y secos pero no se adapta muy bien a los que son muy salinos.

Prefiere áreas con precipitaciones superiores a los 250 mm, aunque vive en zonas con precipitaciones inferiores, no se adapta muy bien en estas. Normalmente lo encontramos en zonas con precipitaciones entre 250 mm y 800 mm/año soportando precipitaciones entre mayo y septiembre inferiores a los 300 mm.

Es una especie típica en zonas llanas y montañas no muy pendientes con orientaciones soleadas. Se da desde el nivel del mar hasta los 1.000 m (aunque también está citado a 1.600 m en el Atlas al norte de África y en la Sierra de las Nieves en Málaga).

La media de la temperatura del mes más frío supera los 0º y normalmente pasa de los 3º, llegando a vivir en buenas condiciones en zonas donde la temperatura media del mes más cálido supera los 26º.

El pino carrasco tiene un temperamento muy robusto, de luz, viviendo en zonas de luminosidad muy intensa y adaptándose bien a vivir aislado. Puede representar el clímax en

zonas áridas o degradadas. No es uno de nuestros pinos más longevos y raramente supera los 250 años. (Lopez, 1993).

Es una especie bien adaptada a los incendios forestales por su capacidad regenerativa acentuada por la presencia ya comentada de piñas cerradas con semilla durante todo el año.

Tiene un carácter claramente Mediterráneo en cuanto a su distribución y se distribuye por su cuenca en zonas generalmente no muy alejadas de la costa excepto en la zona más al este. En la península de encuentra principalmente en el alto Guadalquivir, cabeceras del Tajo y Guadiana, Baleares, Cuenca del Ebro, zona costera Mediterránea (excepto Cádiz), Ciudad Real... (ICONA, 1979).

Las semillas de *Pinus halepensis* Mill. Utilizadas en los ensayos fueron demandadas al Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo". Estas están clasificadas en la categoría de Material forestal de reproducción identificado dentro de la región de procedencia 6 "Monegros-Depresión del Ebro".

Las plantas fueron cultivadas en las mismas condiciones, por lo que tanto los materiales usados, las operaciones culturales, y la ubicación de los cultivos fue exactamente la misma. Las plántulas estuvieron en umbráculo, con condiciones de temperatura-luminosidad, y humedad relativa controladas, desde el 22 de febrero de 2009, fecha de inicio de la fase de semillado hasta que hubieron alcanzado un estado de desarrollo suficiente como para soportar adecuadamente las condiciones externas y el peligro de heladas fuera mínimo. El 18 de mayo de 2009 fueron trasladadas al área sombreada del vivero, donde permanecieron hasta el final del ensayo.



Figura 4: Umbráculo utilizado. Elaboración propia.

3.2 Semillado y operaciones de cultivo

- *Semillado:*

Los análisis tipo que se realizaron a las semillas consistieron en: identidad y origen, germinación, número de semillas en unidad de peso y estado sanitario. Estos análisis fueron realizados en el Centro de Mejora Forestal “El Serranillo”.

Pinus halepensis Mill.

* Clase de análisis: Recepción.

* Especie: *Pinus halepensis* Mill.

* Región de procedencia (Gil, 1996): ES06 Monegros- Depresión del Ebro.

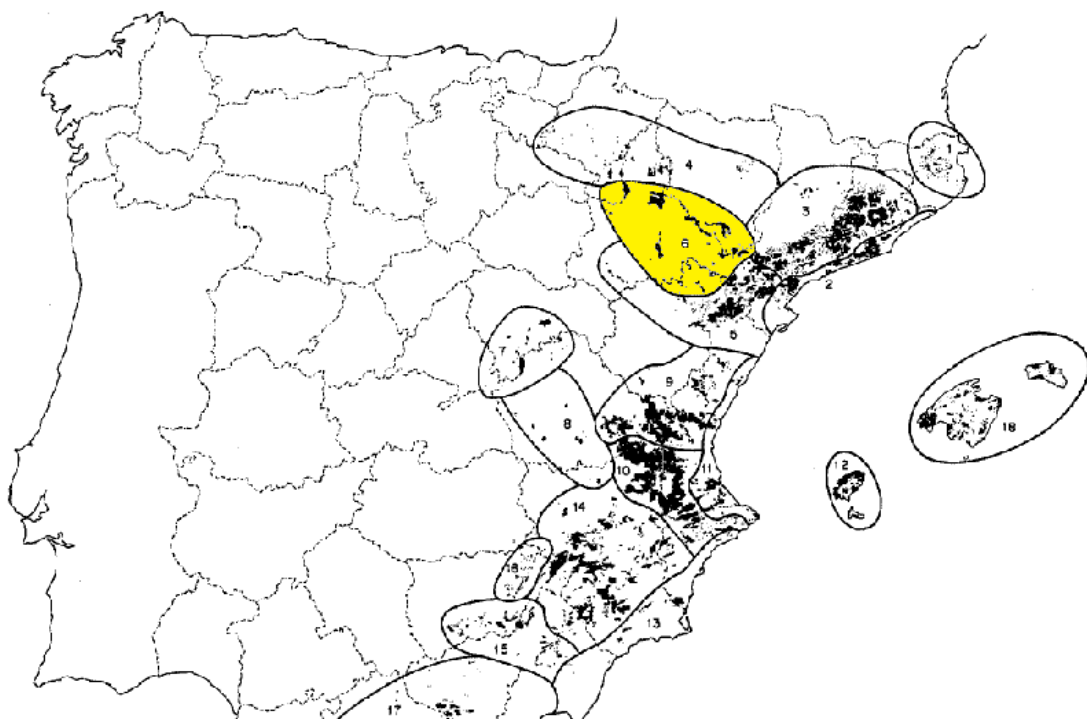


Figura 5: Región de procedencia ES06 Monegros- Depresión del Ebro. (Serrada 2005)

* Normas: I.S.T.A. (International Seed Testing Association).

* Cosecha: 2006/2007.

* Proveedor: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

* Estado sanitario: Satisfactorio.

Todas las operaciones del semillado se realizaron de forma manual. Se llevaron a cabo las siguientes operaciones de forma consecutiva: llenado de las bandejas con sustrato, riegos iniciales (para que el sustrato adquiriera la humedad inicial óptima), siembra de las semillas, recubrimiento y riegos.

Para el llenado de las bandejas se eligió el siguiente procedimiento:

- Llenado a rebosar de las bandejas de alveolos.
- Golpeo de éstas contra el suelo tres veces para la compactación del material.

A continuación se procedió a dar un riego inicial a las bandejas para que el sustrato adquiriera una humedad óptima. Se colocó dos semillas de *Pinus halepensis* en cada alveolo y se recubrió de nuevo con sustrato realizando una pequeña compactación manual sobre la superficie.

Para asegurar que en todos los alvéolos se produjera una tasa de germinación del 100 %, se sembraron 2 semillas de *Pinus halepensis* Mill. por alvéolo.

- *Transplante y repicado:*

A pesar de haberse tomado la precaución de sembrar más de una semilla por alvéolo para asegurar el 100 % de ocupación en las bandejas, no se produjo la nascencia en todos los casos, por lo que se optó por transplantar las plántulas de alvéolos que los que hubiera germinado más de una semilla, a otros que estuvieran vacíos.

Además se eliminaron todos los brinzales sobrantes, hasta dejar uno solo por alvéolo, tomándose como criterio de selección, el mantener aquellos individuos aparentemente mejor conformados y que estuvieran lo más centrado posible dentro cada alvéolo.

- *Riegos:*

El riego tanto en la fase de crecimiento en invernadero, como en la fase en área sombreada se realizó por mediante microdifusores. El cultivo se regó periódicamente y la duración de cada riego fue de aproximadamente 20 minutos.

- *Fertilización:*

Las cantidades totales aplicadas fueron: 36 mg de N/planta, 25 mg de P/planta, 50 mg de K/planta. La forma de aplicación del fertilizante fue mediante fertirrigación.

3.3 Contenedores

Para este trabajo se tomó la decisión de producir la planta en el contenedor más utilizado dentro de la comercialización de esta especie, que nos permitirá un control y manejo adecuado de los sustratos a estudiar. Es el más utilizado porque la producción de planta en contenedor reduce la crisis posterior al transplante. Las raíces iniciales se conservan íntegramente y no se interrumpe la alimentación de la planta, mantiene la humedad durante el transporte, la protege de daños mecánicos, permite controlar la micorrización (inoculación de hongos simbios), alarga el periodo de plantación, mejora la supervivencia y el crecimiento inicial de muchas plantaciones, además permite controlar las condiciones ambientales (temperatura, luz, humedad y riego) (Dominguez Lerena, 1997).

El envase que se eligió para este ensayo, fue ®Forest Pot 300 (300cm³), con lo que así evitamos que el tamaño del envase pueda influir de manera sustancial en los resultados del ensayo. Este envase se suministra en bandejas de plástico rígido de color negro. Cada envase tiene forma de tronco de pirámide, en la parte inferior aparece una rejilla que impide la caída del sustrato al suelo, facilita el drenaje del cepellón y que además permite el autorepicado de la raíz. La parte interior de cada envase está provista de costillas y resaltes interiores para impedir la espiralizaciones y direccionar el sistema radical hacia abajo. Las bandejas están provistas además de patas desmontables de suficiente longitud para facilitar el llenado, semillado, instalación en eras, embalaje, transporte, distribución en campo y recuperación, pudiendo ser reutilizado en más de tres o cuatro campañas, lo que permite abaratar el coste de producción unitario.



Figura 6: Detalle de los alveolos. Elaboración propia.

3.4 Diseño y ensayo de los sustratos

3.4.1 Componentes de los sustratos

En la utilización de sustratos, según nos indica el “Protocolo técnico a aplicar en lo relativo al material forestal de reproducción en la redacción y ejecución de proyectos de repoblación y restauración forestal” de Enero 2012, se debe exigir mediante los procedimientos contractuales establecidos que el cultivo se efectúe en sustratos estériles compuestos por materiales orgánicos o mezcla de orgánicos y minerales artificiales esterilizados, con valores de porosidad total y macroporosidad superiores al 90 y 25%, respectivamente, del volumen total, lo que se convierte en un requisito que debe cumplir nuestros tratamientos.

Además se tendrá en cuenta que los componentes de los sustratos se seleccionan en base a diversos factores como son: disponibilidad, coste, facilidad de almacenamiento y de manejo, estabilidad dimensional, facilidad para rehumedecerse y ausencia de malas hierbas y patógenos.

A la hora de diseñar los diferentes sustratos que hemos utilizado se tendrá que tener en cuenta que la formación de estos sustratos utilizaremos materiales que sean fácilmente manejables y disponibles en el vivero, ya que aportan una estabilidad de disponibilidad necesaria para la normalización del proceso. Por ello la experiencia se ha realizado con turba rubia, perlita y vermiculita. Como se observa en la tablaxx vemos como se trata de los tres únicos sustratos fácilmente manejables dentro del vivero con un alto grado de estabilidad.

A demás según (Olivo, 2006), estos tratamientos cumplirían con los requisitos de porosidad total, retención de aguas, aireación total, agua disponible y peso húmedo ideales para un sustrato para producción de planta forestal, viendo que el único sustrato que cumpliría estos requisitos sería la turba rubia. Se puede apreciar como ninguno de los demás sustratos alcanza el criterio de más de 30% de agua disponible que necesitaría nuestro sustrato ideal. Así que se optará por la utilización de turba rubia como componente base y perlita y vermiculita como componentes secundarios.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

	g/m ³					% vol.				g/cm ³	dS/m	%	min/m ³		€/m ³
	N	P	K	Ca	Mg	EPT	CA	AFD	AR	DA	CE	MO	I	II	PRECIO
1	2	13	290	3805	170	76,07	32,96	10,07	2,26	0,524	0,106	31,79	5	2,83	15,27
2	14	140	2400	5850	445	86,62	46,03	6,15	1,34	0,213	0,828	72,88	5,33	2,83	11,20
3	42	27	345	7200	300	83,95	28,19	19,61	2,47	0,31	0,208	49,54	5,33	2,83	15,90
4	71	7	136	780	305	80,39	5,12	21,36	6	0,262	0,136	90,49	1	0,5	36,26
5	5	5	11	520	25	93,86	10,06	37,23	9,8	0,089	0,022	82,76	0	0	26,57
6	2	3	4	190	7	95,55	74,48	5,13	1,39	0,118	0,014	0	0	0	24,59
7	4	3	31	175	390	95,26	58,93	1,26	1,11	0,125	0,024	0	0	0	70,13
8	6	9	52	330	25	70,97	48,38	6,55	1,63	0,769	0,022	0	1	0,5	7,15
9	427	85	1350	16550	465	71,57	30,50	13,46	3,84	0,667	2,04	20,91	0	8,62	5,23

Tabla 3: Propiedades físicas y químicas. (Burés, 1997).

LEYENDA. EPT: espacio poroso total; CA: capacidad de aireación; AFD: agua fácilmente disponible; AR: agua de reserva; DA: densidad aparente; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; necesidades de pala cargadora en el manejo I y II.

LEYENDA. 1: corteza de pino compostada; 2 orujo de uva compostado; 3: tierra de bosque compostada; 4: turba negra; 5: turba rubia; 6: perlita; 7: vermiculita; 8: puzolana volcánica; 9: residuos urbanos compostados

Sustrato	Porosidad Total	Retención de Agua	Capacidad de Aireación	Agua Disponible	Peso Húmedo
	(% , en base al volumen total del sustrato)				(kg litro ⁻¹)
Sustrato Ideal	70-85^x	55-70	10-20	≥ 30	1.0-1.5
Turba ^y - Perlita	93	73	20	48	0.87
Turba- Vermiculita	94	81	13	60	0.99
Mezcla U. de C. ^z	73	62	11	44	1.14

Tabla 4: Propiedades físicas de un sustrato .ideal. y de algunos sustratos comúnmente empleados en la producción de plantas ornamentales en maceta. (Olivo, 2006).

Los últimos avances en cuanto a la gestión y control del material forestal de reproducción junto con la aprobación del Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, hace que la

producción de planta forestal esté sujeta a unos requisitos y una normalización que no se da en la producción de otros tipos de plantas. La adaptación de los métodos de producción a estos requisitos hace que las variaciones en los medios productivos sean escasas; por una parte el material forestal de reproducción está reglamentado por el del REAL DECRETO 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción. Este RD también establece las cualidades que la planta forestal debe tener, lo que hace que los protocolos puestos en marcha por las diferentes administraciones se basen en estas cualidades, tanto en lo que respecta a atributos finales y tipos de contenedores que se deben utilizar. Y por otra parte el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo, disminuye notablemente el número de posibilidades en cuanto al manejo de los sustratos. Este RD provoca que las empresas que podrían abastecer de materiales nuevos al mercado, les sea poco rentable el regularizarlos ya que se trata de un residuo para la mayoría de ellas, con lo que de forma estable, solo se puede contar con los medios que el sector de los sustratos para la producción de planta suele utilizar tradicionalmente. Las empresas que generan residuos susceptibles de ser utilizados como sustratos sacan estos productos en formato de fertilizantes y enmiendas que les resulta más rentable como actividad residual.

En el mercado español se establece que únicamente se podrán poner en el mercado, los sustratos o componentes de sustratos pertenecientes a alguno de los tipos incluidos en el anexo I y que cumplan las demás condiciones establecidas en el real decreto.

Para ser productor de sustratos en España se deben de cumplir una serie de requisitos establecidos en el Real Decreto 865/2010.

- a) Estar establecido o tener delegación en España.
- b) Disponer de las licencias y permisos necesarios.
- c) Garantizar que el sustrato cumple con la legislación vigente y suministrarlo en el mercado provisto de las indicaciones sobre identificación y etiquetado del anexo II del citado RD.
- d) Disponer de pruebas documentales que demuestren la veracidad de la información que figura en la etiqueta, en los documentos de acompañamiento, en la publicidad o en la presentación de los sustratos de cultivo y componentes de los mismos.

e) Garantizar que la información relativa al etiquetado, documentos de acompañamiento, publicidad y presentación del producto no induzcan a engaño o confusión.

f) En los productos clasificados como peligrosos, facilitar al distribuidor, para su entrega al consumidor final, la ficha de datos de seguridad, establecida en el artículo 31 del Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, (REACH) para poder evaluar y prevenir los riesgos potenciales para las personas que manejen estos productos.

g) Cumplir con las exigencias sobre control de calidad y trazabilidad de los productos a que se refieren los artículos 14 y 15.

Para la comercialización de un material como sustrato, se debe garantizar en todas las etapas de producción, transformación y comercialización la trazabilidad de los sustratos de cultivo y de los componentes de los mismos.

Así pues, para la selección de los sustratos de nuestros tratamientos, se va seleccionar materiales que cumplan todos esos requisitos. El primer paso es elegir entre los materiales que disponen de las características técnicas y administrativas para ser comercializados como sustratos.

En el mercado de sustratos se pueden encontrar de forma que se garantice las características de disponibilidad, coste, facilidad de almacenamiento y de manejo, estabilidad dimensional, facilidad para rehumedecerse y ausencia de malas hierbas y patógenos, principalmente los siguientes componentes de sustratos a la venta tras la publicación del real decreto, turba rubia y negra, perlita, vermiculita y en menor medida sepiolita. Otra serie de componentes no nos garantizarían aspectos importantes para la calidad de planta como la disponibilidad, la estabilidad, facilidad de humectación, porosidad y ausencia de contaminaciones.

Otra serie de productos que se encuentran en el mercado, al ser ya sustratos mezclados y no poder controlar las proporciones de cada componente, tampoco nos servirán para nuestro ensayo.

Los componentes sobre los que se trabajará serán la turba rubia, perlita y vermiculita. Estos tres componentes son de uso general en todo tipo de viveros porque garantizan un suministro muy estable tanto en calidad técnica como en disponibilidad.

Del análisis de los costes de los sustratos elegidos para realizar el trabajo se deriva que los costes por tratamiento son:

Coste unitario por alveolo de 300ml

SUSTRATO	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
TURBA RUBIA	0,03	0,027	0,027	0,027
PERLITA		0,0165		0,00825
VERMICULITA			0,009	0,0045
TOTAL	0,03 €	0,0435 €	0,036 €	0,03975 €

Precio turba rubia= 0,10 €/l

Precio perlita= 0,55 €/l

Precio vermiculita= 0,30 €/l

Tabla 5: Costes de los tratamientos objeto de estudio.

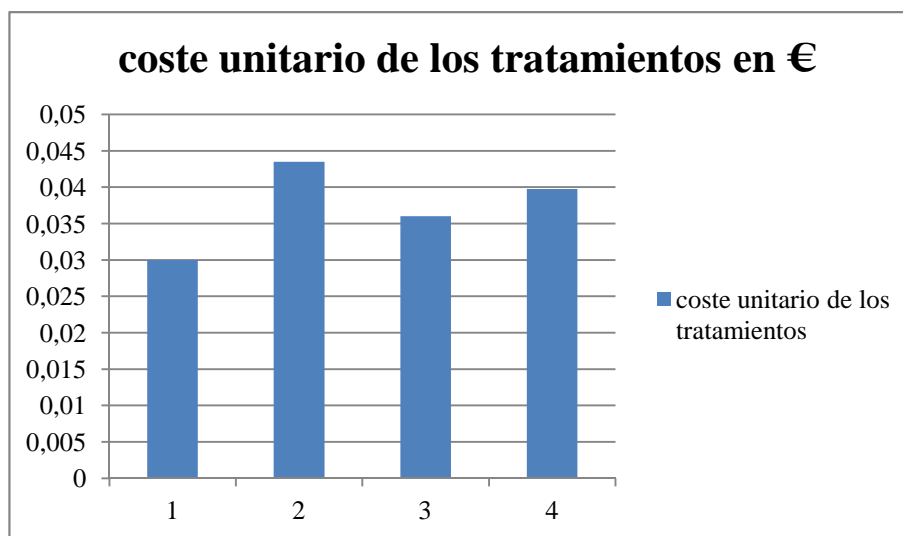


Figura 7: Costes de los tratamientos objeto de estudio.

3.4.2 Diseño experimental

Se realizaron 9 repeticiones de cada uno de los tratamientos propuestos, sembrando una bandeja de 24 alveolos en cada una de las repeticiones para cada tipo de sustrato, lo que viene a suponer 216 alveolos de cada mezcla de sustratos. Los sustratos se prepararán mediante una mezcla volumétrica de turba rubia, perlita y vermiculita en las siguientes proporciones:

- Tratamiento 1: Turba rubia
- Tratamiento 2: Turba rubia+ perlita (10%)
- Tratamiento 3: Turba rubia+ vermiculita (10%)
- Tratamiento 4: Turba rubia+ perlita+vermiculita (5%+ 5%)

Según (Olivo, 2006), estos sustratos cumplirían con los requisitos de porosidad total, retención de aguas, aireación total, agua disponible y peso húmedo ideales para un sustrato para producción de planta forestal.

Para la preparación de los sustratos se ha utilizado una hormigonera en la que se ha realizado las mezclas de los volúmenes anteriormente citados, garantizando una mezcla homogénea de los productos.

Para preparar un sustrato para producción de planta forestal se tendrá que tener en cuenta una serie de requisitos a los que el sustrato tiene que dar satisfacción, estas características son:

1. Propiedades físicas:

- *Mantenimiento de niveles hídricos adecuados.* Debido a lo reducido del volumen de los contenedores, la capacidad de retención de agua debe ser elevada. El sustrato debe tener una microporosidad suficiente para almacenar agua, y en lo posible una alta capacidad de rehúmedación para casos en los que se seque más de lo debido.
- *Porosidad.* Este es el factor que determinará el nivel de aireación del sistema radical, que debe estar equilibrado con la capacidad de retención de agua. Niveles altos de porosidad (mínimos 80 %) incrementan de manera

significativa el peso de las raíces y la actividad vegetativa en las coníferas (Peñuelas Rubira, J.L. y Ocaña Bueno, L. 1996).

- *Textura.* La existencia de cepellones consistentes es la consecuencia de un buen cultivo y garantía de un buen resultado en campo. En los casos en los que la consistencia del cepellón pueda ser un problema, se puede incluir en la mezcla substratos lo más fibrosos posible, con turbas de textura gruesa.

2. Características químicas:

- *pH ligeramente ácido.* En los substratos orgánicos (los más ampliamente usados) el máximo nivel de absorción de nutrientes por parte de la planta se da con pH en torno a 5,5 mientras que en substratos minerales esto se produce con pH de 6,5. Es importante señalar que el control de enfermedades criptogámicas es más fácil con pH ácidos (Peñuelas Rubira, J.L. y Ocaña Bueno, L. 1996).

- *Alta capacidad de intercambio catiónico.* La posibilidad de manejar la nutrición según las conveniencias del cultivo es indicativo de la conveniencia de usar substratos inertes, y con una alta capacidad de intercambio catiónico, para que este pueda almacenarlos hasta que la planta disponga de ellos. La mayor capacidad de intercambio catiónico dentro de los substratos más usados son los de la turba *Sphagnum* y la vermiculita.

- *Adecuada relación C/N.* La relación C/N tiene una influencia notable tanto en el comportamiento físico como químico de los substratos a lo largo del tiempo. Relaciones bajas o medias (20-30) no son interesantes ya que implican pérdidas de estructura por su alto grado de mineralización y porosidad principalmente por colmatación de los poros. Se recomienda usar materiales orgánicos con relación C/N en torno a 50-60 (turbas rubias).

3. Características biológicas:

- *Ausencia de contaminación por agentes patógenos.* Se debe procurar usar substratos que no porten propágulos de hongos, así como con la menor cantidad de nutrientes posible para que no puedan ser utilizados por estos

en sus primeras fases como saprófitos. Se debe evitar mezclar tierras, sin el debido control fitosanitario, con sustratos a base de turba.

La **vermiculita** es un tipo de arcilla con grupo propio, aunque se suele presentar como un subproducto de la mica. Es pasada por un horno a 700/800° de temperatura y durante 1 minuto, aumentando así hasta 20/30 veces su volumen inicial. La vermiculita tiene carga negativa, atrae y retiene iones con carga positiva. Su capacidad de intercambio de iones positivos es de 90-150 m-eq/100g, lo que le proporciona una excelente cualidad para la agricultura por su gran intercambio catiónico. La vermiculita exfoliada es insoluble en agua o en disolventes orgánicos, y aun no siendo higroscópica puede retener agua en una cantidad de aproximadamente 5 veces su peso. Esto es provocado por que las partículas expanden su volumen al exfoliarse, lo que aumenta su área superficial interna. Físicamente, esto permite que la vermiculita mejore su retención de agua a la vez que proporciona aireación en el material.

Al ser un material mineral, la vermiculita no contiene elementos orgánicos, siendo un material imputrescible.

La vermiculita es un material libre de sustancias biológicas indeseadas debido a su rápido ensacado tras la incineración en un horno a 800°, así, está libre de olores, bacterias, esporas, hongos, ácaros, semillas, fitotóxicos, etc. Lógicamente está libre de formaldehído ya que no es un producto derivado de la madera o residuos forestales. Gracias a que es un producto mineral y por estos motivos se considera a la vermiculita como un material bacteriológicamente estéril.

La vermiculita exfoliada, es un material ideal para mezclar con la turba, confiriéndole así un aumento notable de propiedades.

- Efecto tampón, manteniendo la turba con un valor de ph próximo a 6.
- Aumento importante en la cantidad de aire ocluido, favoreciendo el desarrollo de las raíces.
- Mantiene un valor de humedad elevado.
- En el transporte, permite que no se dañen las raíces.
- Favorece la germinación más rápida de las semillas.

La **perlita** es un cristal natural abundante en el planeta. Contiene un 5 % de agua en su interior y tiene la propiedad de expandirse cuando es sometida a altas temperaturas, presentando así una textura porosa y liviana.

Se mide en volumen dado que su peso varía según el tamaño de las partículas y su contenido de humedad.

Son bolitas blancas con alta capacidad para retener agua y a la vez conservar una alta porosidad.

Tiene un color blanco intenso, es extremadamente consistente y por tanto muy resistente a la erosión, en particular a la provocada por el crecimiento de las raíces. Mezclada con el sustrato se utiliza para airear la mezcla y darle ligereza

La perlita se caracteriza porque:

- Es muy liviana, pesando 125 kg por metro cúbico.
- pH neutro.
- Libre de plagas, enfermedades y malezas.
- Incorporada en sustratos es ideal porque favorece la buena aireación y absorbe grandes cantidades de agua.
- No es inflamable.
- Su color blanco reduce la temperatura del sustrato y aumenta la reflexión de la luz, lo que es importante en invernaderos y sombreaderos.
- Ideal como sustrato de propagación de todo tipo de plantas por su neutralidad.
- Cultivos hidropónicos.
- Apropiaada para mezclar con arena en cultivo y propagación de cactus y plantas suculentas.
- En plantas que pasan un tiempo en bolsas o maceteros que deben trasladarse, debido a su capacidad de retención de humedad, porosidad y leve peso.

La **turba rubia** es un material fibroso totalmente orgánico procedente de la acumulación de musgo de Sphagnum a lo largo de cientos de años, en las turberas del Norte de Europa. Esta materia orgánica acumulada en condiciones anaeróbicas y a bajas temperaturas va evolucionando y humidificándose hasta transformarse en turba. El clima de las zonas donde se forma la turba es bastante frío, hecho que influye en la evolución del musgo de Sphagnum. Las heladas, frecuentes en esa zona, hacen que la materia orgánica no se descomponga ni se oxide tan rápidamente como ocurriría en otras condiciones. El resultado de estos factores es una turba fibrosa en la que se pueden observar pequeñas fibras vegetales.

Tal como se observa la turba rubia es un material totalmente orgánico en el que destaca principalmente su pH ácido, con un valor de 3,84 y una baja conductividad eléctrica. Otro de los aspectos más destacables de esta turba es su bajo contenido de cloruros y la seguridad de estar exenta de radioactividad, ambas características muy importantes para evitar fitotoxicidades en el producto. Además de sus características químicas, es de gran utilidad conocer sus características físicas (drenaje, capacidad de retención de agua,

aireación) para su buen funcionamiento como sustrato. Las principales características de la turba como sustrato son su gran capacidad para retener la humedad, su porosidad y ligereza. Además su amplia gama de granulometrías, entre las cuales destacan las partículas fibrosas, favorece su correcto comportamiento como sustrato de cultivo.

En base a sus características físicas y químicas, la turba rubia de Sphagnum es ideal para ser utilizada como materia prima de sustratos de cultivo para la mayoría de plantas, y especialmente para plantas de interior, por su baja conductividad eléctrica. Asimismo también puede ser empleada directamente para plantas acidófilas debido a su bajo valor de pH. Para aquellos cultivos en que sea necesario obtener un sustrato con un pH superior su valor se modificará con la aplicación de un corrector de pH.

Desde el punto de vista físico, la turba rubia de Sphagnum aporta al sustrato una buena retención de agua, a la vez que un correcto porcentaje de aireación. Ambas propiedades favorecen el rápido desarrollo radicular de las plantas. Su riqueza nutritiva es muy baja, por lo que prácticamente no se considera para realizar el cálculo de necesidades nutritivas de la planta.

Las aplicaciones de la turba rubia son numerosas, entre las que destacan las siguientes:

- . Materia prima para fabricar sustratos
- . Utilización directa como sustrato de cultivo
- . Plantación de semilleros
- . Enmienda orgánica
- . Biofiltros

(Pagés y Matallana, 1984) la diferencia principal entre estos sustratos radica en el porcentaje en materia orgánica, un 87,2% de la turba rubia, 1,37% de la perlita y un 8,96% de la vermiculita y porcentaje en volumen de aire de 29% turba rubia, 70,5% perlita y 64,1% de la vermiculita.

3.5 Análisis de la calidad.

3.5.1 Medición de los atributos morfológicos.

En primer lugar se midió con la regla la altura (mm) de cada individuo tomando como referencia el cuello de la raíz y como punto máximo el de la inserción de las acículas terminales. A continuación, se midió con el calibre digital el diámetro en el cuello de la raíz (mm) y ambos datos se anotaron en un estadillo.

Con posterioridad se tomó 10 plantas al azar de cada uno de los tratamientos y se midió el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz. Para ello se cortó cada planta por el cuello de la raíz, se limpió con agua corriente las raíces y todo el material vegetal fue secado en estufa a 65 ° durante 24 h y pesado balanza electrónica. Tras esto se anotó, altura, diámetro en el cuello de la raíz, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz.

Para llevar a cabo la caracterización morfológica de los individuos se utilizaron los siguientes instrumentos y materiales:

- Regla de 30 cm con una precisión de 0.1 cm
- Calibre digital con una precisión de 0.1 mm
- Horno de laboratorio.
- Balanza electrónica

Tras esto se calcularon los índices que relacionan estos atributos morfológicos con la calidad.



Figura 8: Detalle de la planta. Elaboración propia.

El Índice de Esbeltez (IE) es la relación entre la altura (cm) y el diámetro (mm). Este índice es un buen indicador de la capacidad de crecimiento de las plántulas y su posterior supervivencia en campo. Además permite hacer una estimación del nivel de ahilamiento, frecuente en cultivos de alta densidad.

El Índice tallo raíz (Iverson 1984) (ITR) = peso seco del tallo (g)/ peso seco de la raíz (g). Se utiliza como una medición de la potencialidad de establecimiento de la planta en ambientes áridos con prolongados periodos de sequía y fuertes insolaciones. Es un índice de especies de temperamento robusto de luz o media luz.

Índice de esbeltez de Schmidt-Vogt (Schmidt-Vogt, 1980), cuya finalidad es ver la capacidad de crecimiento vegetativo del individuo referenciado con los demás en las mismas condiciones.

$$IE = \frac{\frac{\text{diámetro tallo (mm)}}{\text{altura tallo (cm)}}}{10} + 2$$

Índice de Dickson (Dickson *et al.* 1960) (QI), que se utiliza para ver la producción vegetativa de las plantas.

$$QI = \frac{\frac{\text{peso seco total (g)}}{\text{altura tallo (cm)}}}{\frac{\text{diámetro tallo (mm)}}{\text{peso seco tallo (g)}} + \frac{\text{peso seco raíces (g)}}{\text{peso seco tallo (g)}}}$$

3.5.2 Protocolo de calidad

Para este estudio se ha propuesto utilizar el Protocolo de Calidad de Planta Forestal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente basado en el “Manual para la comercialización de semillas y plantas forestales” del citado ministerio: “Protocolo técnico a aplicar en lo relativo al material forestal de reproducción en la redacción y ejecución de proyectos de repoblación y restauración forestal” de Enero 2012.

- **Características morfológicas relacionadas con la calidad del material forestal de reproducción**

La calidad morfológica de una planta hace referencia a un conjunto de caracteres tanto de naturaleza cuantitativa como cualitativa sobre la forma y estructura de la planta o alguna de sus partes. La morfología de una planta cultivada en vivero es el resultado de un conjunto de diversos factores como son sus propias características genéticas, la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de envase, el sustrato, el régimen de fertilización y riego y el grado de sombreo. Estos caracteres cuantitativos y cualitativos son los atributos legalmente considerados en la delimitación de la calidad cabal y comercial de los lotes de plantas empleados para algunas especies forestales.

También se han usado índices o relaciones morfológicas, que son combinaciones de dos o más atributos morfológicos, siendo la esbeltez (cociente entre la altura y el diámetro en el cuello de la raíz). Estos índices palian las limitaciones interpretativas que los atributos morfológicos poseen al considerarlos de forma individualizada, sobre todo cuando se analiza el equilibrio entre el desarrollo de la parte aérea o transpirante y la radical o absorbente (Navarro *et al.* 2006).

Las características de la planta a utilizar, según las especies, vendrán determinadas por los valores mínimos exigibles de los siguientes parámetros:

a) Altura: se define por la longitud desde el extremo de la yema terminal hasta el cuello de la raíz.

b) Robustez: se mide por el diámetro del cuello de la raíz, expresado en mm. Se comprobará su desarrollo correspondiente a las alturas o diámetros normales requeridos para cada especie.

c) Forma del sistema radical: debe estar ramificado equilibradamente, con numerosas raicillas laterales y abundantes terminaciones meristemáticas, y no haberse perdido en proporción apreciable durante el arranque.

d) Hojas y ramificaciones: las plantas perennes deberán tener el tipo de follaje que corresponde a su edad en vivero, debiendo tener buenas ramificaciones. La planta de tallo espigado y sin ramificar deberá ser rechazada, pues no dará en el cuello de la raíz los diámetros mínimos exigibles.

e) Estado: no debe mostrar signos de enfermedad, ni presentar coloraciones que puedan atribuirse a deficiencias nutritivas. No debe confundirse la coloración de deficiencias con el cambio de coloración que experimentan algunas especies debido a las heladas, que en nada merma la calidad de la planta.

f) Esbeltez: proporción entre la altura y el diámetro del cuello de la raíz.

- **Características fitosanitarias relacionadas con la calidad del material forestal de reproducción**

Estos caracteres hacen referencia a la presencia de daños causados por plagas y enfermedades. Las plantas hablan a través de cambios en su coloración, en la forma de su silueta o en el aspecto general que ofrece, por ello es importante observar con detenimiento los diferentes síntomas que se manifiestan en las plantas. La presencia de los mismos en un lote de planta será un motivo directo para desechar dicho lote y por ello es de vital importancia hacer un examen de visu con detenimiento una vez que los lotes de planta están listos para ser enviados a sus respectivos lugares de plantación.

Los atributos de tipo cualitativo se refieren a aspectos como la presencia de daños o heridas en las plantas, deformaciones radicales y tallos múltiples, entre otros. La mayoría de ellos están recogidos en la legislación vigente sobre el control de calidad de planta.

Así se consideran requisitos de calidad exterior para la especie *Pinus halepensis* en la región mediterránea:

ESPECIE	EDAD (Años)	ALTURA MÍNIMA (cm) ¹	ALTURA MÁXIMA (cm) ²	DIÁMETRO MÍNIMO DE CUELLO DE LA RAÍZ (mm)	VOLUMEN MÍNIMO DEL ENVASE (cm ³)
<i>Pinus halepensis</i>	1	8	25	2	200
	2	12	40	3	

Según la normativa, sólo serán comercializables los lotes de plantas en los que el 95% de las mismas sean de calidad cabal y comercial. El cumplimiento de tal requisito en cuanto a las normas y prescripciones de calidad descritas previamente, tanto las establecidas en la legislación como las adicionales incorporadas contractualmente, debe ser comprobado con rigor estadístico. A tales efectos de control, cabe emplear el sistema establecido por el organismo francés Office National des Forêts como base común de apreciación de la calidad de la planta. Tal método de control, llamado de muestreo progresivo, se expone a continuación.

Muestreo

En este muestreo cada planta es calificada como apta o no apta en función de si cumple o no los diferentes criterios de calidad establecidos. El control está concebido de modo que:

- Un lote que contenga un 5% de plantas no conformes a las normas de calidad exterior, tenga un 95% de posibilidades de ser aceptado y un 5% de probabilidades de ser rechazado.

- Un lote de plantas que contenga un 11% de plantas no conformes a las normas de calidad exterior, tenga un 50% de posibilidades de ser aceptado y un 50% de ser rechazado.

- Un lote de plantas que contenga un 20% de plantas no conformes a las normas de calidad exterior, tenga un 5% de posibilidades de ser aceptado y un 95% de ser rechazado.

La muestra a controlar estará constituida por un número entero (P) de plantas (a fijar por el responsable del organismo de control en caso de intervención del mismo o por las partes en caso contrario) en nuestro caso 9, tomadas aleatoriamente en la partida por el método que a continuación se expone, tras comprobar que el número de plantas a controlar se corresponde, en su caso, con lo que figura en el imprescindible documento acreditativo del lote.

La selección de las plantas que constituye la muestra conlleva escoger previamente el número (N) de haces o manojos (planta a raíz desnuda) o bandejas (planta en contenedor) de donde extraerlas. Para ello se empieza sacando al azar un número del 1 al 10. Determinado éste, se van seleccionando los haces/bandejas a partir de uno escogido al azar como origen, con el siguiente criterio:

- Si el número de haces/bandejas es menor que 100 se eligen éstos de 10 en 10 a partir del número seleccionado. Como el número ha sido el 3, se elegirán la bandeja 3.
- Si el número de haces/bandejas es mayor que 100 se eligen los mismos de 100 en 100 a partir del número seleccionado. Así, si el número ha sido el 3, se elegirán los haces/bandejas número 3, 103, 203, 303, 403, etc.

En ambos casos el número de haces/bandejas a elegir representará, aproximadamente, el 10% del total de los mismos. Si en algún caso se quisiera un

porcentaje mayor de plantas a muestrear bastaría con repetir la operación. Es decir, se obtendría una nueva cifra comprendida entre 1 y 10 y se volvería a comenzar.

Conforme al número (N) de haces o bandejas elegido, se determina el número de plantas a analizar por haz o bandeja mediante el cociente P/N. Si la parte decimal de éste es igual o menor que 0,5, en cada haz o bandeja elegida se analizará un número de plantas igual a la parte entera (p) del cociente P/N, salvo en una cantidad de ellas igual a P-pN, en las que se evaluará una planta más. Si la parte decimal fuera mayor que 0,5 en cada haz o bandeja elegida se analizará un número de plantas igual a la parte entera del cociente (p) más uno, excepto en un cantidad de ellas igual a (p+1)N-P en las que se muestreará una planta menos. Dentro de cada haz/bandeja la elección de las plantas a evaluar se realizará al azar. Así queda $9/1 = 9$ plantas a examinar en cada bandeja haciendo un total de 36 plantas analizadas en los 4 lotes.

Control propiamente dicho

Para el control de las plantas se utilizará un estadillo en el que se reseñarán los datos identificativos del lote a evaluar, así como su productor y los intervinientes en el proceso de control, y que incluirá un cuadro de evaluación de las plantas integrantes de la muestra:

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

RECEPCION DE PLANTA - ESTADILLO DE CONTROL DE CALIDAD

Nº LOTE		COD.Nº CERTIFICADO PATRÓN		ESPECIE			
REGIÓN DE PROCEDENCIA / MATERIAL DE BASE							
CATEGORÍA				TIPO DE MATERIAL DE BASE			
<input type="checkbox"/> Autóctono <input type="checkbox"/> No Autóctono <input type="checkbox"/> Desconocido				Origen de los materiales de base (para materiales no autóctonos)			
EDAD		ENVASE		TIPO		VOLUMEN (cm³)	Número bandejas múltiples alveólos
OTROS DATOS						CANTIDAD	
PRODUCTOR DE LA PLANTA				SITUACIÓN DEL VIVERO			
ORGANISMO DE CONTROL				CONTROLADOR			
PROMOTOR				DIRECTOR DE OBRA			
EMPRESA ADJUDICATARIA				TITULAR / REPRESENTANTE			

Número de plantas controladas		Número de plantas rechazadas				Evaluación	
Por muestra	Acumulado	Por muestra			Acumulado		
		Cohesión del cepellón	Conformación y estado sanitario	Edad y dimensiones			Total (3+4+5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

Documentación aportada: _____

Fecha del control: _____ **Resultado del control:** Satisfactorio ☐ No satisfactorio ☐

Observaciones: _____

Firma del Controlador, Firma del Director de Obra, Firma del Adjudicatario (o representante),

Figura 9: Ejemplo de estadillo del protocolo de calidad.

Los criterios de evaluación serán los que corresponden a la planta en cuestión (según especie, edad y cultivo) conforme a lo contemplado al respecto en la normativa

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

vigente y los adicionales establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas o en los condicionados en caso de subvención. La forma de proceder será la siguiente:

- Tomar en el lote, por el método indicado en los párrafos precedentes, el número de plantas necesario constituyente de la muestra inicial.
- En el caso de planta en contenedor, contabilizar en el estadillo de control las plantas cuyo cepellón presente una cohesión deficiente y eliminarlas.
- Registrar en el estadillo de control el número de plantas que tengan algún defecto de conformación o estado sanitario y eliminarlas.
- Realizar las mediciones (altura y diámetro) de las plantas seleccionadas no eliminadas previamente y anotar el número de las que, en función de su edad (número de savias) y dimensiones, no cumplen la norma.
- Sumar las cifras resultantes de los dos apartados anteriores.
- De acuerdo con el cuadro estadístico de control general y atendiendo al número de plantas muestreadas, si la cifra total de las plantas no conformes a la normativa se sitúa en el cuadro estadístico de control en una de las columnas “Aceptar” o “Rechazar” el control ha terminado, admitiéndose o desestimándose respectivamente el lote.

Si el número total de plantas no conformes cae dentro de la columna central “Continuar”, el proceso de evaluación debe proseguir, tomándose una nueva muestra del lote con los mismos criterios y operando con ella de forma análoga a la expuesta, y así sucesivamente hasta llegar a la decisión de “Aceptar” o “Rechazar”. Se tendrá en cuenta que en caso de reanudación del proceso, habrá que manejar la tabla de aceptación o rechazo con los valores acumulados de plantas controladas y de plantas rechazadas correspondientes al total de muestras evaluadas.

Nº de plantas controladas	Número de plantas no conformes a la Normativa		
	ACEPTAR	CONTINUAR	RECHAZAR
1 a 9	-	0 a 2	3 y más
10 a 18	-	0 a 3	4 y más
19 a 27	0	1 a 4	5 y más
28 a 36	0 a 1	2 a 5	6 y más
37 a 45	0 a 2	3 a 6	7 y más

Tabla 6: Tabla estadística de control general de plantas no conformes a las prescripciones.

3.6 Análisis estadístico

Fue necesario el uso de un programa informático **SPSS para Windows** y la hoja de cálculo **Microsoft Excel**, aplicación distribuida por Microsoft Office.

El análisis estadístico realizado constó de las siguientes fases:

- ***Exploración estadística de las variables:***

Como paso previo al resto de los análisis, se realizó un análisis exploratorio de los datos de cada variable usando técnicas de estadística descriptiva, a fin de conocer el comportamiento de la población y en los que casos en los que fuera necesario una depuración de los datos de la misma.

- ***Comprobación de la normalidad de varianzas de las variables:***

A continuación se verificó la hipótesis de normalidad de varianzas, para ello se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors y el test de la W de Shapiro- Wilks. El nivel de significación de ambos tests para aceptar las hipótesis nulas establecidas fue $p \leq 0.05$.

En el caso de no obtener normalidad se procedió a realizar transformaciones de los datos, con el fin de conseguir datos normales. Las transformaciones usadas, por otra parte las más habituales, fueron las que proporcionaba el programa de análisis estadístico, es decir: $\log x$, $1/x$, \sqrt{x} , $1/\sqrt{x}$, x^2 y x^3 .

- ***Comprobación de la homogeneidad de varianzas (Homocedasticidad):***

Otro requisito necesario fue la homogeneidad de varianzas. Para comprobar si los datos de las variables eran homocedásticos se utilizó el test de Levene. El nivel de significación para aceptar las hipótesis nulas mediante este test fue $p \leq 0.05$.

En el caso de no obtener homocedasticidad se procedió a realizar transformaciones de los datos, con el fin de conseguir datos homogéneos. Las transformaciones usadas, por otra parte las más habituales, fueron las que proporcionaba el programa de análisis estadístico, es decir: $\log x$, $1/x$, \sqrt{x} , $1/\sqrt{x}$, x^2 y x^3 .

- ***Análisis de la varianza de una vía (ANOVA):***

Una vez comprobado que los datos eran normales y homocedásticos, se procedió a realizar ANOVAs (analysis of variance) para verificar en qué casos existían diferencias

diferencias significativas, teniendo en cuenta que para un nivel de significación $p < 0.05$, las diferencias halladas se consideran significativas.

El método de análisis de varianaza (ANOVA) procura aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0) que establece igualdad de respuesta entre todos los tratamientos considerados en el análisis. La prueba estadística utilizada provee una probabilidad estimada (valor p), el cual es el resultado de la comparación de un valor F calculado con relación a un valor F obtenido a partir de la respectiva curva de distribución de probabilidades, dados unos grados de libertad provenientes del tamaño de muestra seleccionado. Una vez realizada la prueba de hipótesis para cada variable en estudio, se procedió a establecer conclusiones sobre los compartamientos de los datos obtenidos o a realizar otros análisis que permitan clarificar las conclusiones preliminares encontradas.

Las medias de los tratamientos fueron separadas utilizando la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher al 5% de significancia. (Acrónimo en inglés LSD). Permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. El Test se basa en la creación de un valor común, un umbral, basado en un test de la t de Student. Se realizan todas las diferencias entre medias de los t niveles. Las diferencias que estén por encima de este umbral indicarán una diferencia de medias significativa y las diferencias que estén por debajo indicarán una diferencia no significativa

También se utilizó el test de Duncan que es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.

- **Análisis de regresión y correlación de la variables**

Análisis entre dos variables mediante las técnicas de REGRESIÓN LINEAL Y CORRELACIÓN basadas en el ajuste de una línea recta sobre los datos para explicar la relación entre X e Y . En forma más específica el análisis de correlación y regresión comprende el análisis de los datos muestrales para saber qué es y cómo se relacionan entre sí dos o más variables en una población. El análisis de correlación produce un número que resume el grado de la correlación entre dos variables; y el análisis de regresión da lugar a una ecuación matemática que describe dicha relación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado de los atributos morfológicos

4.1.1 Medición de atributos morfológicos

En este apartado se procede a analizar los resultados de las variables morfológicas

DIÁMETRO (mm)

Medición del diámetro en el cuello de la raíz (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
1	1	2,8	4,7	4,2	3,4
1	2	2,7	4,2	4,7	2,9
1	3	3,2	3,7	3,7	3,7
1	4	3,3	3,6	4,4	3,6
1	5	3,5	3,9	3,9	3,9
1	6	3,5	3,5	3,3	4,2
1	7	3,3	3,3	3,4	3,7
1	8	3,4	3,4	2,9	3,4
1	9	2,9	2,9	3,7	2,9
1	10	3,7	3,7	3,6	3,3
1	11	3,6	3,6	3,9	4,1
1	12	3,9	3,9	4,2	4,8
1	13	4,2	4,2	3,7	4,7
1	14	4,7	3,4	3,5	3,6
1	15	3,7	2,9	4,7	3,9
1	16	3,6	3,3	4,2	4,2
1	17	2,9	4,1	4,2	3,7
1	18	2,9	4,8	4,7	3,4
1	19	3,3	4,7	3,7	2,9
1	20	4,4	4,2	4,7	3,3
1	21	3,9	3,3	3,7	4,1
1	22	3,3	4,1	4,4	4,8
1	23	4,1	4,8	3,9	4,7
1	24	4,8	4,4	3,3	2,9
2	25	4,7	3,9	3,4	3,7
2	26	4,2	2,9	2,9	3,6
2	27	3,9	3,7	3,7	4,2
2	28	3,8	3,6	3,6	3,7
2	29	3,5	3,3	3,9	3,2
2	30	2,8	3,3	3,7	3,8
2	31	2,8	4,4	4,2	3,9
2	32	2,9	3,9	4,7	3,9
2	33	3,2	3,5	3,7	3,5
2	34	3,3	3,3	3,6	3,3
2	35	2,6	3,4	3,3	3,4
2	36	3,7	2,9	3,4	3,9
2	37	3,6	3,3	2,9	3,9
2	38	3,9	4,1	3,3	3,7
2	39	3,7	4,8	4,1	3,6
2	40	4,2	4,7	4,8	3,9
2	41	4,7	4,8	4,7	4,2
2	42	3,7	4,7	4,2	3,4
2	43	3,6	3,6	3,7	3,4
2	44	3,3	3,9	3,6	3,6
2	45	3,4	4,2	3,9	3,9
2	46	2,9	3,7	3,5	3,6
2	47	3,3	3,4	3,3	3,3
2	48	4,1	2,9	3,3	3,3
3	49	4,8	3,6	3,4	3,3
3	50	4,7	3,9	2,9	4,1
3	51	4,2	4,2	3,7	4,8
3	52	3,7	3,4	2,9	4,7

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición del diámetro en el cuello de la raíz (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
3	53	3,6	3,2	3,7	4,2
3	54	3,9	3,8	3,6	2,9
3	55	3,5	3,9	3,9	3,7
3	56	3,3	3,2	4,2	3,6
3	57	3,4	3,4	3,7	3,9
3	58	2,9	2,9	4,4	4,2
3	59	3,7	3,7	3,9	4,7
3	60	3,6	3,6	4,4	3,7
3	61	3,9	3,9	3,9	4,4
3	62	4,2	4,2	2,9	3,9
3	63	2,9	3,7	3,7	3,3
3	64	3,7	3,4	3,6	4,1
3	65	3,6	2,9	3,3	3,4
3	66	3,9	3,3	3,3	3,2
3	67	4,2	4,1	4,4	4,2
3	68	4,7	4,8	3,9	4,7
3	69	3,7	4,7	3,5	3,7
3	70	4,4	2,9	3,3	4,4
3	71	3,9	3,7	3,4	3,9
3	72	3,3	3,6	3,4	3,3
4	73	4,1	4,2	2,9	3,4
4	74	4,8	3,7	3,7	2,9
4	75	4,7	4,4	3,6	3,7
4	76	4,2	3,3	3,9	3,6
4	77	3,9	4,4	4,2	3,9
4	78	3,8	3,9	3,7	4,2
4	79	3,9	3,3	4,4	3,7
4	80	3,3	4,4	3,3	4,1
4	81	3,7	3,9	3,7	4,8
4	82	3,6	3,3	4,4	4,7
4	83	3,9	3,4	3,9	2,9
4	84	3,7	3,3	3,3	3,7
4	85	4,4	2,8	4,1	3,6
4	86	3,9	2,9	3,4	3,9
4	87	3,3	3,7	3,2	3,9
4	88	3,4	3,6	4,2	3,4
4	89	2,9	3,3	4,7	2,9
4	90	3,7	3,3	3,7	3,7
4	91	2,9	4,4	4,4	3,6
4	92	3,7	3,9	3,9	3,9
4	93	3,6	3,5	3,3	4,2
4	94	3,9	3,3	3,4	3,7
4	95	4,2	3,6	2,9	4,4
4	96	3,7	3,9	3,3	3,3
5	97	4,4	3,9	4,4	3,3
5	98	3,9	3,4	3,9	4,1
5	99	3,6	4,2	3,5	3,4
5	100	3,9	4,7	3,9	3,2
5	101	3,3	3,7	3,5	3,8
5	102	3,4	3,6	3,3	3,9
5	103	2,9	3,3	3,4	3,2
5	104	3,7	3,4	2,9	2,9
5	105	3,6	2,9	3,7	3,7
5	106	3,9	3,3	4,4	4,4
5	107	4,2	4,1	3,9	2,7
5	108	3,7	3,7	3,3	2,3
5	109	4,4	2,9	3,4	2,8
5	110	3,9	3,7	3,3	3,4
5	111	3,3	3,6	3,8	2,9
5	112	4,1	3,9	3,6	3,4
5	113	3,8	4,2	3,9	2,9
5	114	4,4	3,7	3,9	3,3
5	115	3,9	4,7	3,4	4,1
5	116	3,3	3,7	2,9	4,8
5	117	4,1	4,4	4,2	4,7
5	118	4,8	3,9	3,7	2,9
5	119	4,7	3,3	3,4	3,7

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición del diámetro en el cuello de la raíz (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
5	120	4,2	3,4	2,9	3,6
6	121	2,9	2,9	3,3	3,9
6	122	3,7	3,7	4,1	4,7
6	123	3,6	3,6	4,8	2,9
6	124	3,9	3,9	4,7	3,7
6	125	4,2	4,2	2,9	3,6
6	126	4,7	3,7	3,7	3,9
6	127	3,7	4,1	3,6	4,7
6	128	4,4	4,8	4,2	4,2
6	129	3,9	4,7	3,7	4,2
6	130	3,3	2,9	3,7	4,7
6	131	4,1	3,7	3,4	3,7
6	132	3,4	3,6	2,9	4,4
6	133	3,2	3,9	3,3	3,9
6	134	3,8	4,2	4,1	3,3
6	135	3,9	3,9	4,8	3,4
6	136	3,2	3,3	4,7	2,9
6	137	2,9	3,6	2,9	3,3
6	138	3,7	3,9	3,7	3,4
6	139	4,4	3,9	3,6	2,9
6	140	2,7	3,6	3,4	3,7
6	141	2,3	3,9	2,9	2,9
6	142	2,8	3,9	3,7	3,7
6	143	3,4	3,7	3,6	3,6
6	144	2,9	3,6	3,9	3,9
7	145	3,7	3,9	4,2	4,2
7	146	3,6	4,2	3,4	3,7
7	147	3,9	3,4	2,9	4,4
7	148	4,2	3,4	3,3	3,9
7	149	3,7	3,6	4,1	2,9
7	150	4,4	3,9	4,8	3,7
7	151	3,4	4,2	4,2	3,6
7	152	2,9	4,8	4,7	3,3
7	153	3,7	4,7	3,7	3,3
7	154	3,6	2,9	4,4	4,4
7	155	3,9	3,7	3,9	3,9
7	156	4,2	3,6	3,3	3,5
7	157	3,9	3,9	3,4	3,3
7	158	3,3	4,2	2,9	3,4
7	159	4,1	3,9	3,7	2,9
7	160	4,8	3,3	4,7	3,7
7	161	4,7	4,1	2,9	2,9
7	162	4,2	4,8	3,7	3,7
7	163	4,2	4,7	3,6	3,6
7	164	4,7	4,2	3,9	3,9
7	165	3,7	4,2	2,9	4,2
7	166	4,4	4,7	3,3	3,7
7	167	3,9	3,7	4,1	4,4
7	168	3,3	3,7	4,8	3,9
8	169	3,4	3,6	4,7	3,6
8	170	2,9	3,9	2,9	3,6
8	171	3,7	3,3	3,7	3,9
8	172	3,6	3,4	3,6	4,2
8	173	3,9	2,9	3,9	3,4
8	174	4,2	3,7	4,2	3,7
8	175	3,7	2,9	3,6	3,6
8	176	4,4	3,7	3,9	3,9
8	177	3,9	3,6	3,9	4,2
8	178	4,2	3,9	3,4	3,4
8	179	3,7	4,2	3,7	4,2
8	180	4,4	3,7	3,6	3,4
8	181	3,4	4,4	3,9	2,9
8	182	2,9	3,9	4,2	3,3
8	183	3,7	4,4	3,4	4,1
8	184	3,6	3,9	4,8	4,8
8	185	3,3	2,9	4,7	4,2
8	186	3,3	3,7	3,6	4,4

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición del diámetro en el cuello de la raíz (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
8	187	4,4	3,6	3,9	3,9
8	188	3,9	3,3	4,2	3,3
8	189	3,5	3,3	3,7	3,4
8	190	3,3	4,4	3,4	4,1
8	191	3,4	3,9	3,7	4,2
8	192	2,9	3,5	2,9	3,3
9	193	3,7	3,9	3,7	3,8
9	194	3,6	3,5	3,6	3,9
9	195	3,9	3,3	3,9	3,5
9	196	3,4	3,4	4,2	3,3
9	197	2,9	2,9	3,7	3,4
9	198	3,7	3,6	3,7	2,9
9	199	3,6	3,9	4,4	3,7
9	200	3,9	3,9	3,9	3,6
9	201	4,2	3,4	3,3	3,9
9	202	3,7	3,4	3,4	3,9
9	203	4,4	3,7	2,9	3,7
9	204	3,3	3,6	3,6	3,6
9	205	4,4	3,9	3,9	3,9
9	206	3,9	4,2	3,9	4,2
9	207	3,3	3,4	3,4	3,4
9	208	3,4	2,9	3,7	3,4
9	209	2,9	3,3	4,1	3,6
9	210	3,7	4,1	4,8	3,9
9	211	3,6	4,8	4,7	4,2
9	212	3,9	4,7	2,9	3,7
9	213	4,2	2,9	3,7	4,4
9	214	3,7	3,7	3,6	3,9
9	215	4,4	3,6	3,9	3,6
9	216	3,3	3,9	4,2	3,5
	Promedio tratam.	3,72083333	3,75416667	3,75138889	3,72037037
	Desviación est	0,14701899	0,11267348	0,09943416	0,12053563

Tabla 7. Medición de diámetros en el cuello de la raíz.

Descriptivos Diámetro (mm)	
Cuenta	36
Promedio	3,7367
Desviación	0,1170
Varianza	0,0137
Curtosis	-0,2850
Sesgo	0,1065
Mínimo	3,4750
Máximo	3,9875
Rango	0,5125
Norm (p-valor)	0,6630

Tabla 8: Descriptivos de la variable diámetro en los cuatro tratamientos.

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 7 como todos los tratamientos aplicados dan valores tanto en promedio como en desviación estándar por encima de los valores mínimos marcados en el REAL DECRETO 289/2003, que nos indica un mínimo de 3

mm de diámetro para la especie *Pinus halepensis*. Vemos que los mejores resultados promedio los tendríamos en los tratamientos 2 y 3 pero las diferencias no se pueden considerar significativas como nos aclara el análisis Anova de la tabla 9.

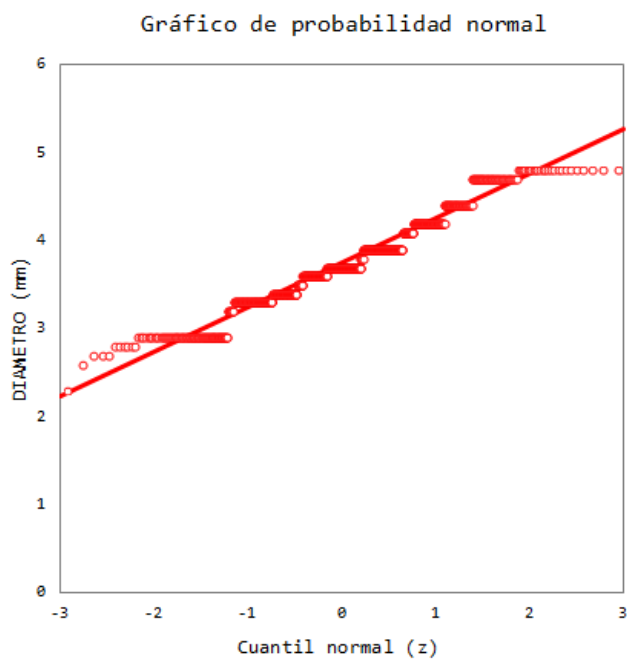


Figura 10: Gráfica de la prueba de normalidad en la variable diámetro (mm)

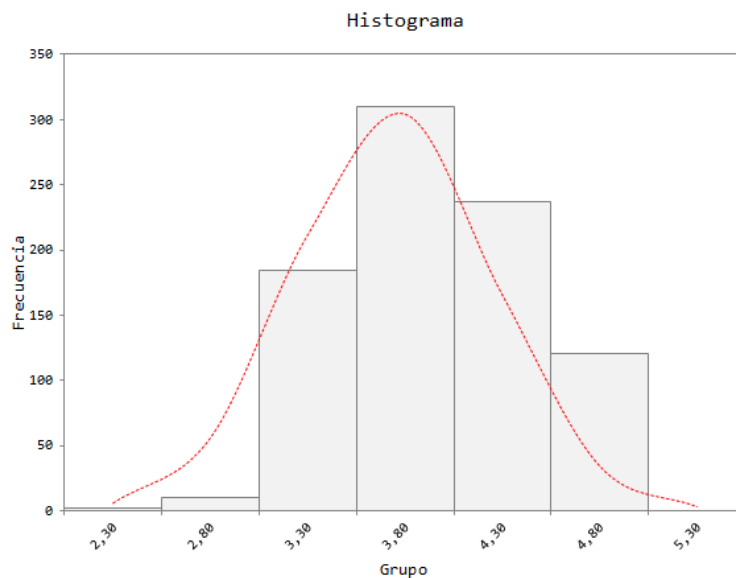


Figura 11: Histograma y ajuste a curva normal de la variable diámetro (mm).

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Una vez comprobada la normalidad de los datos de los diámetros medidos en el cuello de la raíz, como se aprecia en las figuras 10 y 11, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 9 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto a los diámetros es muy elevada, exactamente del 88,7%. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico del diámetro medido en el cuello de la raíz para la especie *Pinus halepensis*.

Análisis de varianza de un factor			Diámetros			
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Tratamiento 1	9	33,4875	3,72083333	0,02161458		
Tratamiento 2	9	33,7875	3,75416667	0,01269531		
Tratamiento 3	9	33,7625	3,75138889	0,00988715		
Tratamiento 4	9	33,4833333	3,72037037	0,01452884		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0093533	3	0,00311777	0,2123606	0,88709281	2,90111959
Dentro de los grupos	0,4698071	32	0,01468147			
Total	0,4791604	35				

Tabla 9. Análisis ANOVA de los diámetros

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

ALTURA (mm)

Medición de la altura (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
1	1	331	339	372	347
1	2	331	338	356	378
1	3	332	336	378	354
1	4	340	346	312	341
1	5	346	345	342	345
1	6	345	369	345	344
1	7	331	394	357	378
1	8	331	398	345	344
1	9	334	387	344	367
1	10	336	323	342	367
1	11	345	398	331	342
1	12	357	341	332	339
1	13	345	367	356	356
1	14	344	356	397	345
1	15	342	345	387	357
1	16	331	357	367	345
1	17	332	345	367	344
1	18	337	344	355	342
1	19	339	342	356	331
1	20	338	331	378	342
1	21	336	332	367	339
1	22	346	347	356	341
1	23	345	378	329	323
1	24	369	354	297	378
2	25	394	341	349	346
2	26	398	345	378	342
2	27	387	344	356	339
2	28	378	378	389	366
2	29	378	344	378	375
2	30	365	367	387	398
2	31	329	367	367	393
2	32	387	344	368	392
2	33	365	342	337	388
2	34	345	331	355	344
2	35	373	332	356	342
2	36	365	342	332	331
2	37	334	339	337	332
2	38	337	341	367	356
2	39	356	372	341	397
2	40	397	345	323	389
2	41	387	344	345	378
2	42	367	342	369	374
2	43	367	331	342	371
2	44	387	332	339	342
2	45	367	341	341	331
2	46	368	378	323	332
2	47	337	323	378	323
2	48	355	345	346	378
3	49	356	339	345	341
3	50	378	338	344	323
3	51	367	336	342	345
3	52	356	346	331	369
3	53	329	345	332	394
3	54	297	369	337	345
3	55	349	394	344	347
3	56	378	398	342	378
3	57	356	387	331	354
3	58	389	323	332	341
3	59	378	398	342	345
3	60	374	341	339	344
3	61	371	345	341	323
3	62	381	357	372	378
3	63	382	345	378	345
3	64	331	344	323	357

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN

EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición de la altura (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
3	65	339	342	378	345
3	66	338	331	345	344
3	67	341	332	357	342
3	68	347	312	345	331
3	69	361	342	344	332
3	70	356	348	342	342
3	71	332	347	331	339
3	72	331	342	332	341
4	73	381	345	332	372
4	74	382	343	378	356
4	75	339	332	356	378
4	76	338	323	397	312
4	77	365	378	387	342
4	78	332	345	367	348
4	79	356	344	367	347
4	80	374	342	387	342
4	81	378	331	369	345
4	82	371	332	394	343
4	83	367	337	345	332
4	84	367	367	347	378
4	85	356	345	378	323
4	86	372	357	354	378
4	87	356	345	357	345
4	88	378	344	345	357
4	89	376	342	344	345
4	90	383	331	342	344
4	91	382	332	331	342
4	92	378	337	332	331
4	93	339	336	323	332
4	94	338	346	378	347
4	95	343	345	345	378
4	96	347	369	344	354
5	97	341	394	342	341
5	98	352	398	331	345
5	99	371	387	332	344
5	100	378	378	337	378
5	101	323	356	367	344
5	102	398	367	332	367
5	103	381	378	337	323
5	104	382	334	367	378
5	105	378	341	356	345
5	106	341	339	356	344
5	107	356	338	378	342
5	108	322	323	376	331
5	109	312	398	342	332
5	110	342	341	339	355
5	111	348	367	341	356
5	112	347	356	323	378
5	113	342	342	345	367
5	114	345	339	369	356
5	115	343	341	394	329
5	116	332	323	345	297
5	117	333	378	347	349
5	118	331	345	356	378
5	119	342	357	397	356
5	120	339	345	387	389
6	121	341	344	367	378
6	122	323	342	367	356
6	123	378	331	387	345
6	124	398	332	347	357
6	125	356	342	378	345
6	126	344	339	354	344
6	127	334	341	341	342
6	128	364	323	345	331
6	129	345	378	344	372
6	130	322	346	378	356
6	131	381	345	344	378

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN

EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición de la altura (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
6	132	382	369	367	376
6	133	377	394	345	378
6	134	365	378	357	354
6	135	369	334	345	341
6	136	367	341	312	345
6	137	345	339	342	344
6	138	347	338	348	378
6	139	378	367	347	344
6	140	354	323	342	367
6	141	341	398	345	367
6	142	345	341	343	341
6	143	344	378	332	339
6	144	378	354	333	338
7	145	344	356	345	367
7	146	367	397	357	323
7	147	367	387	345	398
7	148	341	367	342	341
7	149	339	345	339	323
7	150	338	347	341	378
7	151	343	378	345	345
7	152	335	354	369	344
7	153	367	341	394	342
7	154	378	378	345	331
7	155	334	334	347	332
7	156	341	341	378	337
7	157	339	339	354	367
7	158	338	338	356	332
7	159	367	367	345	337
7	160	356	342	357	367
7	161	356	339	345	356
7	162	367	341	344	345
7	163	387	323	342	357
7	164	356	378	331	345
7	165	322	345	367	312
7	166	312	344	311	342
7	167	367	342	344	348
7	168	378	331	342	347
8	169	372	332	331	342
8	170	356	337	332	345
8	171	341	367	342	343
8	172	323	356	339	332
8	173	398	356	341	367
8	174	355	397	345	378
8	175	377	387	344	323
8	176	312	367	378	378
8	177	342	367	344	345
8	178	378	378	367	357
8	179	338	323	367	345
8	180	365	378	344	344
8	181	332	345	342	342
8	182	356	357	331	331
8	183	374	345	332	332
8	184	378	344	323	341
8	185	372	342	345	378
8	186	356	331	369	323
8	187	341	332	394	378
8	188	367	336	345	345
8	189	345	346	347	357
8	190	347	345	378	345
8	191	378	369	354	344
8	192	354	394	356	342
9	193	341	345	397	331
9	194	345	347	387	332
9	195	312	378	367	342
9	196	342	354	345	339
9	197	323	341	347	341
9	198	398	345	378	323

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Medición de la altura (mm) por tratamientos					
Repetición	individuo	tratamiento 1	tratamiento2	tratamiento 3	tratamiento4
9	199	341	312	354	324
9	200	367	342	341	345
9	201	356	323	345	357
9	202	354	398	312	345
9	203	332	341	342	356
9	204	356	367	323	345
9	205	374	356	398	357
9	206	378	378	345	345
9	207	344	345	347	345
9	208	356	357	378	344
9	209	376	345	354	378
9	210	391	344	341	344
9	211	387	342	323	367
9	212	376	331	378	367
9	213	372	332	342	344
9	214	356	341	339	342
9	215	367	344	341	331
9	216	356	348	323	332
Promedio tratam.		355,342593	350,898148	351,606481	350,24537
Desviación est		7,90456251	4,3971222	4,06400138	4,86512731

Tabla 10. Medición de alturas.

Descriptivos ALTURA (mm)	
Cuenta	36
Promedio	352,0231
Desviación	5,6482
Varianza	31,9024
Curtosis	0,3030
Sesgo	0,4265
Mínimo	340,1250
Máximo	367,6250
Rango	27,5000
Norm (p-valor)	0,2676

Tabla 11: Descriptivos de la variable altura en los cuatro tratamientos

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 10 como todos los tratamientos aplicados dan valores tanto en promedio como en desviación estándar por encima de los valores mínimos marcados en el REAL DECRETO 289/2003, que nos indica un mínimo de 120 mm y un máximo de 400 mm de altura para la especie *Pinus halepensis*. Vemos que los mejores resultados promedio los tendríamos en el tratamiento 1 pero las diferencias no se pueden considerar significativas como nos aclara el análisis Anova de la tabla 12. Este incremento podría deberse al aumento de materia orgánica que se da al haber un 10% más de componente orgánico en el sustrato del tratamiento 1.

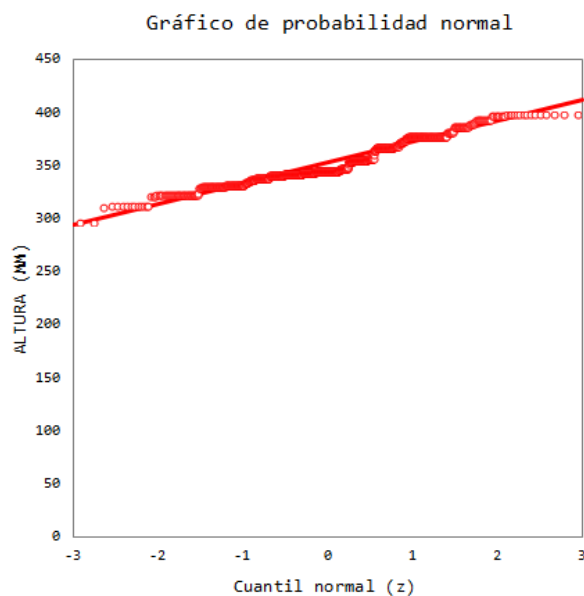


Figura 12: Gráfica de la prueba de normalidad

Una vez comprobada la normalidad de los datos de las alturas, como se aprecia en las figuras 12 y 13, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

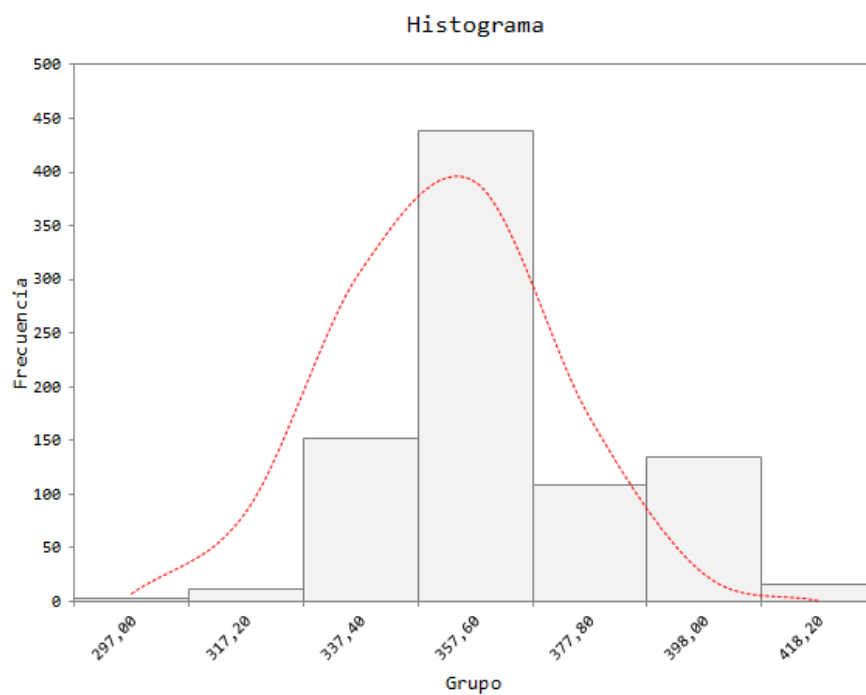


Figura 13: Histograma y ajuste a curva normal de la variable altura (mm).

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 12 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto a la altura es alta, exactamente del 22,4%. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico de la altura para la especie *Pinus halepensis*.

Análisis de varianza de un factor			alturas			
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Tratamiento 1	9	3198,08333	355,342593	62,4821084		
Tratamiento 2	9	3158,08333	350,898148	19,3346836		
Tratamiento 3	9	3164,45833	351,606481	16,5161073		
Tratamiento 4	9	3152,20833	350,24537	23,6694637		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	140,565972	3	46,8553241	1,53621038	0,22407089	2,90111959
Dentro de los grupos	976,018904	32	30,5005908			

Tabla 12. Análisis ANOVA de las alturas.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

4.1.2 Resultado del análisis de la calidad de planta.

MEDICIÓN DE VARIABLES POR TRATAMIENTOS								
TRATAMIENTO	Diámetro (mm)	Altura (mm)	IE	ISCHMI	PSA (gr)	PSR (gr)	ITR	QI
1,00	2,70	331	11,82	0,51	4,60	2,20	2,09	0,49
1,00	3,30	346	10,48	0,60	5,20	2,70	1,93	0,64
1,00	3,70	367	9,92	0,65	5,40	2,60	2,08	0,67
1,00	4,20	381	9,07	0,72	6,10	2,80	2,18	0,79
1,00	3,60	371	10,31	0,63	5,20	2,70	1,93	0,65
1,00	3,40	398	11,71	0,57	5,50	2,90	1,90	0,62
1,00	3,70	323	8,73	0,71	5,70	3,00	1,90	0,82
1,00	2,80	345	12,32	0,51	5,00	2,60	1,92	0,53
1,00	4,20	367	12,28	0,74	5,60	2,70	2,07	0,58
1,00	2,90	356	11,82	0,52	4,90	2,30	2,13	0,52
2,00	4,20	338	8,05	0,78	6,20	2,80	2,21	0,88
2,00	4,10	347	8,46	0,75	5,80	2,40	2,42	0,75
2,00	4,70	342	7,28	0,87	5,90	2,50	2,36	0,87
2,00	4,20	357	8,50	0,75	5,40	2,70	2,00	0,77
2,00	3,30	332	10,06	0,62	4,80	2,20	2,18	0,57
2,00	3,60	367	10,19	0,63	5,30	2,90	1,83	0,68
2,00	3,70	342	9,24	0,68	5,80	2,40	2,42	0,70
2,00	3,90	341	8,74	0,72	5,70	2,50	2,28	0,74
2,00	4,80	341	9,15	0,89	6,20	3,10	2,00	0,83
2,00	3,90	357	8,05	0,70	5,60	2,70	2,07	0,82
3,00	4,70	356	9,62	0,85	5,70	2,80	2,04	0,73
3,00	4,10	356	9,13	0,74	5,70	2,30	2,48	0,69
3,00	4,20	369	9,97	0,74	5,60	2,70	2,07	0,69
3,00	2,90	372	10,05	0,51	4,10	2,50	1,64	0,56

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

MEDICIÓN DE VARIABLES POR TRATAMIENTOS								
TRATAMIENTO	Diámetro (mm)	Altura (mm)	IE	ISCHMI	PSA (gr)	PSR (gr)	ITR	QI
3,00	4,40	394	10,10	0,74	5,40	2,90	1,86	0,69
3,00	3,30	332	9,76	0,62	4,80	2,50	1,92	0,63
3,00	4,10	367	7,65	0,72	5,60	2,40	2,33	0,80
3,00	3,70	343	9,53	0,68	4,90	3,20	1,53	0,73
3,00	3,70	344	9,74	0,68	5,00	2,40	2,08	0,63
3,00	4,20	331	9,62	0,79	5,20	2,90	1,79	0,71
4,00	2,90	378	13,03	0,50	4,50	2,50	1,80	0,47
4,00	4,80	341	7,10	0,89	6,20	2,60	2,38	0,93
4,00	3,40	374	11,00	0,59	5,60	2,30	2,43	0,59
4,00	3,90	378	9,69	0,67	5,40	2,30	2,35	0,64
4,00	4,70	343	7,30	0,87	5,60	2,80	2,00	0,90
4,00	3,90	367	9,41	0,69	5,60	2,70	2,07	0,72
4,00	4,70	356	7,57	0,85	5,90	3,00	1,97	0,93
4,00	3,70	341	9,22	0,68	5,30	3,10	1,71	0,77
4,00	3,70	345	10,03	0,68	5,10	2,80	1,82	0,67
4,00	3,30	331	13,03	0,62	4,90	2,70	1,81	0,51
PROMEDIO	3,830	354,175	9,718	0,692	5,400	2,653	2,050	0,698
DEVEST	0,576	18,177	1,530	0,108	0,481	0,258	0,232	0,121

Tabla 13. Recogida de datos de los atributos morfológicos e índices de calidad en los cuatro tratamientos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

PROMEDIO DE VARIABLES POR TRATAMIENTO								
TRATAMIENTO	Diámetro (mm)	Altura (mm)	IE	ISCHMI	PSA (gr)	PSR (gr)	ITR	QI
1	3,45	358,50	10,85	0,62	5,32	2,65	2,01	0,63
2	4,04	346,40	8,77	0,74	5,67	2,62	2,18	0,76
3	3,93	356,40	9,52	0,71	5,20	2,66	1,98	0,69
4	3,90	355,40	9,74	0,70	5,41	2,68	2,04	0,71

Tabla 14: Promedio de variables por cada uno de los tratamientos.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE VARIABLES POR TRATAMIENTO								
TRATAMIENTO	Diámetro (mm)	Altura (mm)	IE	ISCHMI	PSA (gr)	PSR (gr)	ITR	QI
1	0,5359	22,9214	1,3243	0,0883	0,4341	0,2461	0,1078	0,1096
2	0,4671	10,6687	0,9112	0,0884	0,4244	0,2700	0,1988	0,0943
3	0,5355	19,7270	0,7145	0,0933	0,5121	0,2875	0,2915	0,0667
4	0,6481	17,5575	2,1430	0,1256	0,4909	0,2658	0,2672	0,1685

Tabla 15: Desviación estándar de variables por cada uno de los tratamientos.

4.1.2.1 Índice de Esbeltez

Descriptivos IE	
Cuenta	40
Promedio	9,7183
Desviación	1,5298
Varianza	2,3401
Curtosis	-0,3488
Sesgo	0,3962
Mínimo	7,1000
Máximo	13,0300
Rango	5,9300
Norm (p-valor)	0,2637

Tabla 16: Descriptivos de la variable IE en los cuatro tratamientos

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 16 como todos los tratamientos aplicados dan valores tanto en promedio como en desviación estándar por encima de los

valores de índice de Esbeltez que otros autores proponen para la especie *Pinus halepensis*. En concreto este cociente se encuentra entre 3,8-7,6 , (Oliet *et al.*,1997) o 3,21-5,35 (Puértolas *et al.*,2003). . Vemos que los mejores resultados promedio los tendríamos en el tratamiento 1 mientras que los peores se darían en los tratamientos 3 y 4.

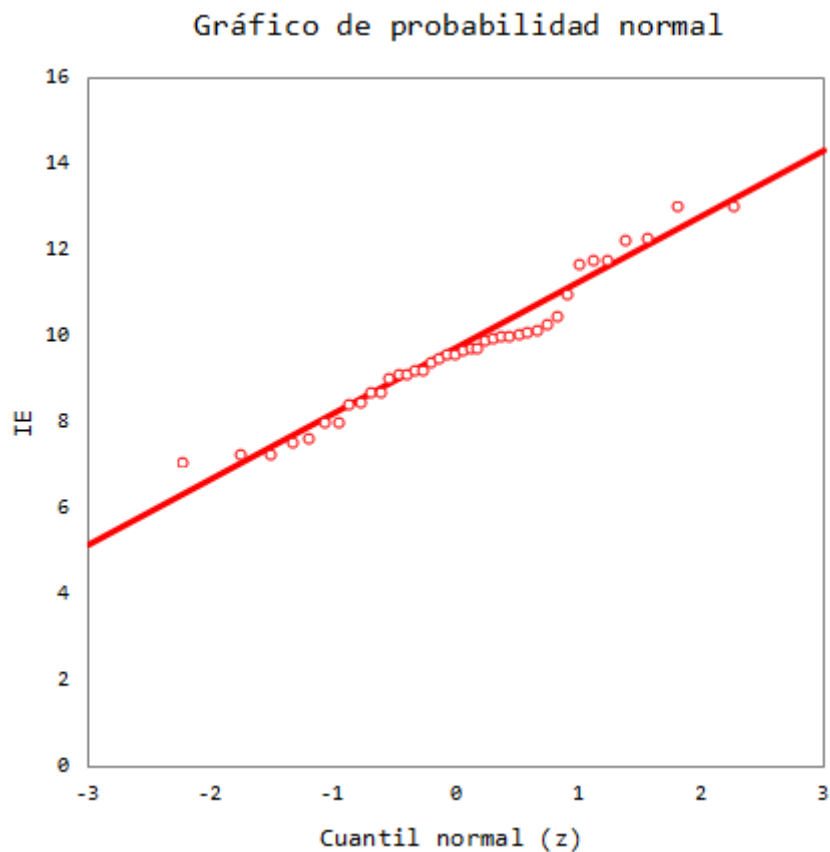


Figura 14: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable IE

Una vez comprobada la normalidad de los datos del índice de esbeltez, como se aprecia en la figura 16, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

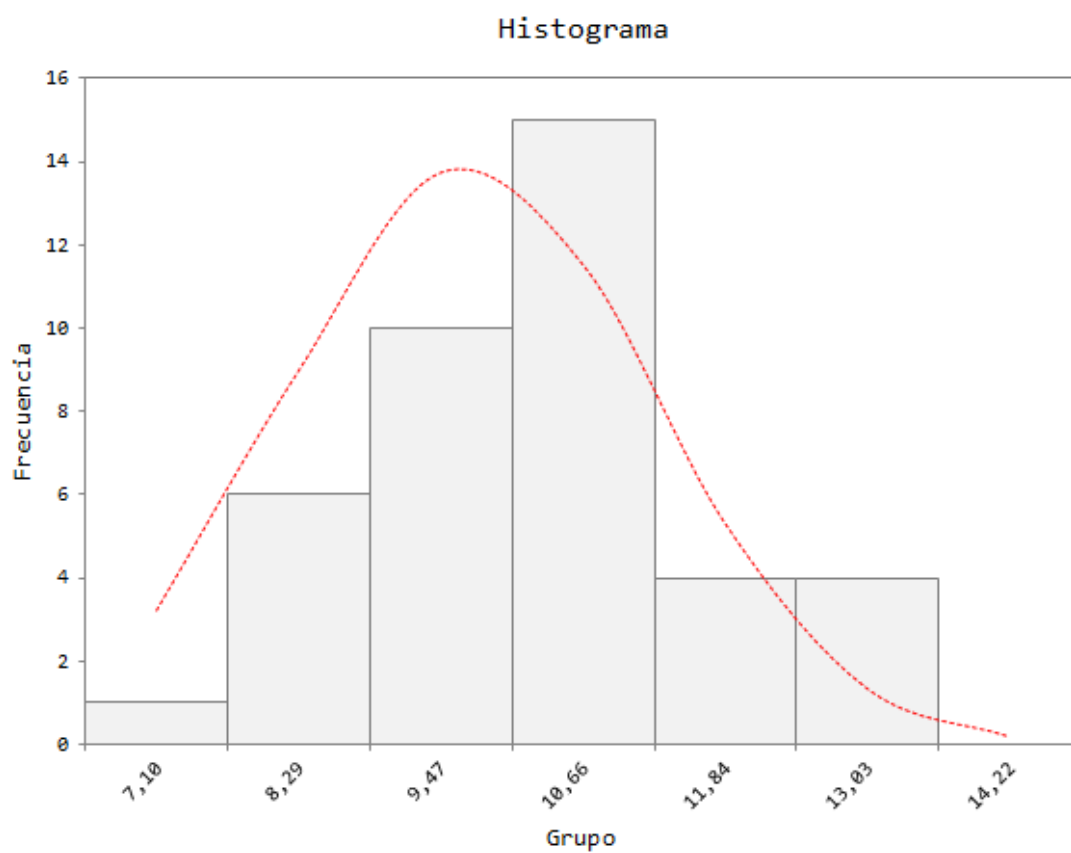


Figura 15: Histograma y ajuste a curva normal de la variable IE.

ANOVA					
VAR INDICE DE ESBELTEZ					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	22,081	3	7,360	3,829	,017
Intra-grupos	69,184	36	1,921		
VAR INDICE DE ESBELTEZ Total	91,265	39			

Tabla 17: Análisis Anova del Índice de esbeltez.

Según el análisis ANOVA de la tabla 17, se puede ver que en el índice de Esbeltez se observan variaciones significativas ya que podemos rechazar la hipótesis nula de igualdad de medidas porque probabilidad < 0,05.

Los tratamientos del ensayo resultan ser significativamente diferentes en relación a la variable índice de Esbeltez con un grado de significación de 0,017.

Procederemos a realizar los análisis post hoc para aclarar más la relación entre los cuatro sustratos propuestos y el índice de Esbeltez.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente :VAR INDICE DE ESBELTEZ

			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
(I) VAR IE	(J) VAR IE					Límite inferior	Límite superior
DMS	1,00	2,00	2,07400*	,61997	,002	,8167	3,3313
		3,00	1,32900*	,61997	,039	,0717	2,5863
		4,00	1,10800	,61997	,082	-,1493	2,3653
	2,00	1,00	-2,07400*	,61997	,002	-3,3313	-,8167
		3,00	-,74500	,61997	,237	-2,0023	,5123
		4,00	-,96600	,61997	,128	-2,2233	,2913
	3,00	1,00	-1,32900*	,61997	,039	-2,5863	-,0717
		2,00	,74500	,61997	,237	-,5123	2,0023
		4,00	-,22100	,61997	,724	-1,4783	1,0363
	4,00	1,00	-1,10800	,61997	,082	-2,3653	,1493
		2,00	,96600	,61997	,128	-,2913	2,2233
		3,00	,22100	,61997	,724	-1,0363	1,4783

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 18. Análisis DMS del índice de esbeltez.

Se aprecia como el tratamiento cuyo sustrato está compuesto únicamente por turba rubia, es diferente en cuanto a la influencia que tiene sobre la variable índice de Esbeltez.

También se observa como el contenido de perlita hace que estas diferencias sean más notables que en el caso de la vermiculita que amortigua estas diferencias.

VAR INDICE DE ESBELTEZ				
		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
VAR00001				
Duncan ^a	2,00	10	8,7720	
	3,00	10	9,5170	
	4,00	10	9,7380	9,7380
	1,00	10		10,8460
	Sig.		,149	,082

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 10,000.

b. Razón de seriedad del error de tipo 1/tipo 2 = 100

Tabla 19. Análisis post hoc del índice de esbeltez.

En un análisis gráfico a través de los barras de error inferenciales calculadas a través del error estándar de la figura 16 podremos observar la significación de las diferencias entre los tratamientos.

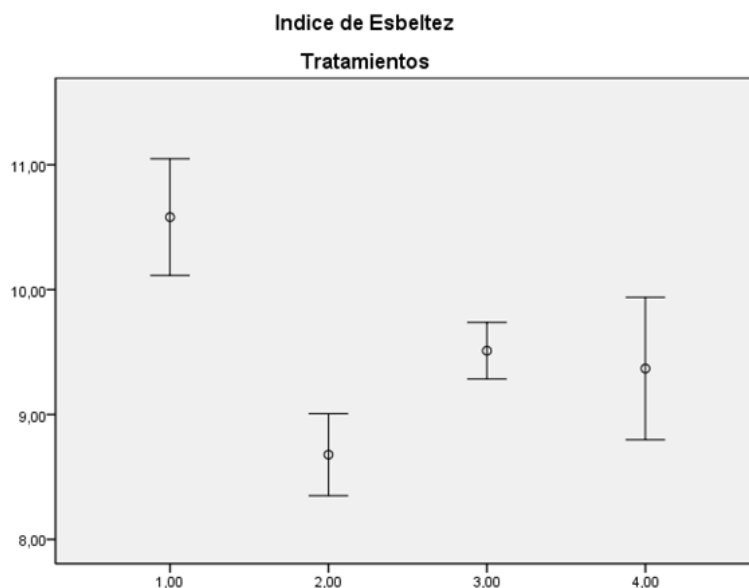


Figura 16: barras de error inferenciales del índice de Esbeltez.

En la figura 16 podemos ver como se confirma gráficamente las diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, siendo mayor la diferencia entre el tratamiento de turba rubia con el tratamiento 2 compuesto por mezcla de 10% de perlita que llega a ser el doble del error estándar, con lo que esta diferencia es significativa en una probabilidad bastante menor del 1%, mientras que con el tratamiento mezcla vermiculita y perlita, esta diferencia es solo mayor a una vez el error estándar con lo que su probabilidad estará por debajo del 5%., como se puede ver en el análisis DMS de la tabla 18.

4.1.2.2 Índice de calidad de Schmidt-Vogt

Descriptivos ISCHMI	
Cuenta	40
Promedio	0,6915
Desviación	0,1078
Varianza	0,0116
Curtosis	-0,6163
Sesgo	0,0471
Mínimo	0,5000
Máximo	0,8900
Rango	0,3900
Norm (p-valor)	0,4209

Tabla 20: Descriptivos de la variable Schmidt-Vogt en los cuatro tratamientos

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 14 como para este índice nos darían valores menores en el tratamiento de turba rubia que en los tratamientos 2,3 y 4 en los cuales hay mezclas de ésta con perlita y vermiculita.

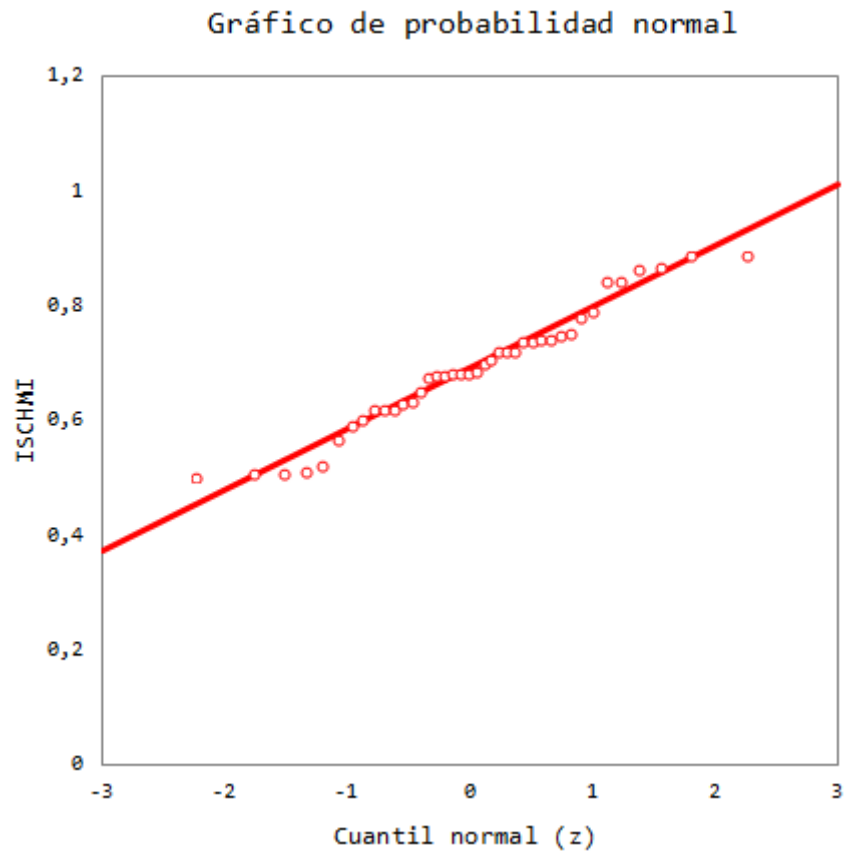


Figura 17: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable Schmidt-Vogt

Una vez comprobada la normalidad de los datos de la variable índice de Schmidt-Vogt, como se aprecia en la figura 16, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

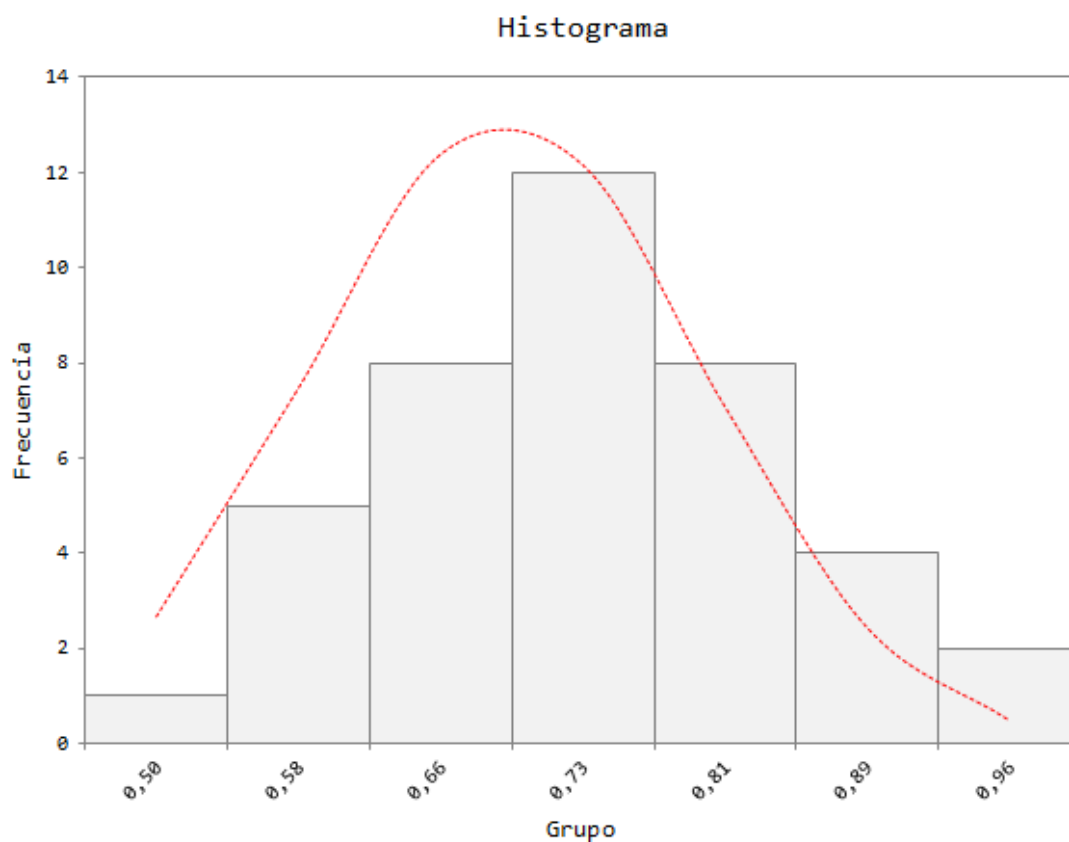


Figura 18: Histograma y ajuste a curva normal de la variable Schmidt-Vogt

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR Índice de esbeltez de Schmidt	Inter-grupos	,082	3	,027	2,740	,057
	Intra-grupos	,361	36	,010		
	Total	,443	39			

Tabla 21: Análisis Anova del Índice de Schmidt-Vogt

Según el análisis ANOVA de la tabla 21 y la figura 19, se puede ver que en el índice de Schmidt-Vogt no se observan variaciones significativas.

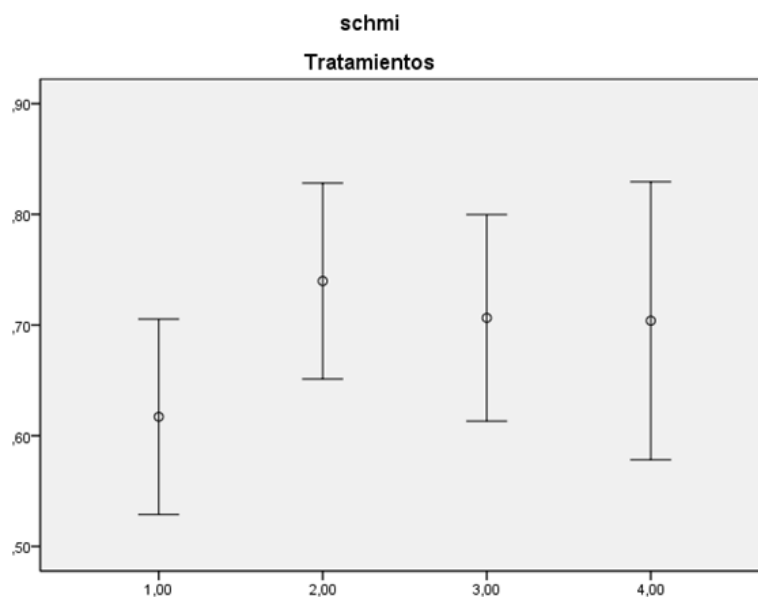


Figura 19: barras de error inferenciales del índice de Schmidt-Vogt

4.1.2.3 Índice de calidad Tallo-raíz (ITR)

Descriptivos ITR	
Cuenta	40
Promedio	2,0495
Desviación	0,2321
Varianza	0,0539
Curtosis	-0,6407
Sesgo	0,0693
Mínimo	1,5300
Máximo	2,4800
Rango	0,9500
Norm (p-valor)	0,3974

Tabla 22: Descriptivos de la variable ITR en los cuatro tratamientos

Para este índice de tallo-raíz vemos en la tabla 14 como los mayores valores los alcanza para el tratamiento 2 de mezcla turba rubia y perlita.

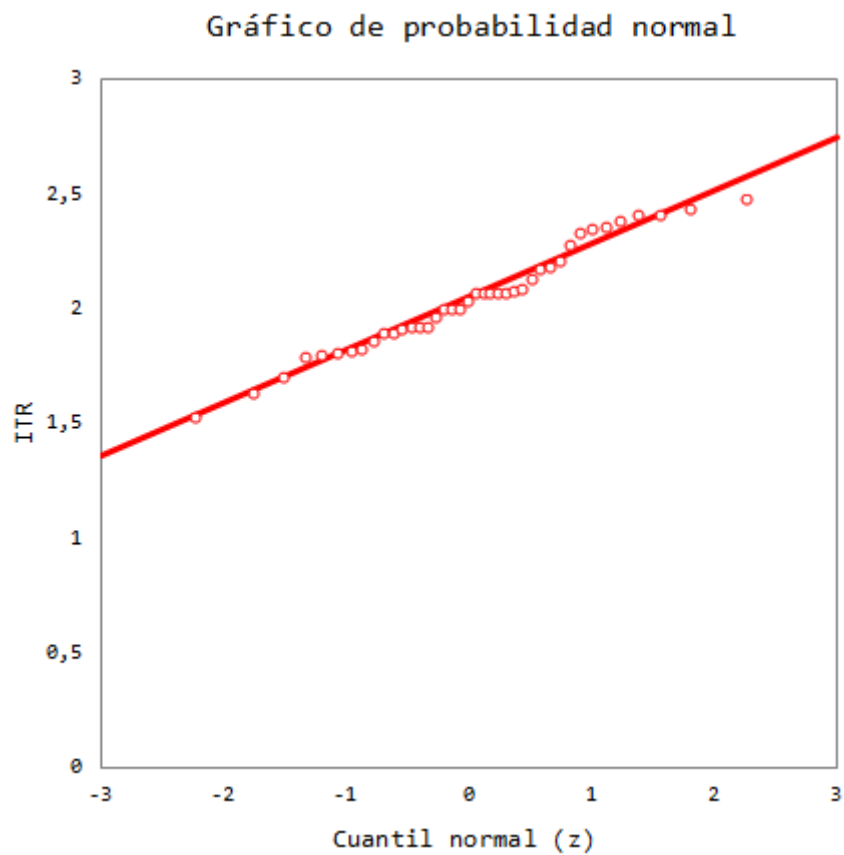


Figura 20: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable ITR

Una vez comprobada la normalidad de los datos del índice Tallo-raíz, como se aprecia en la figura 20, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

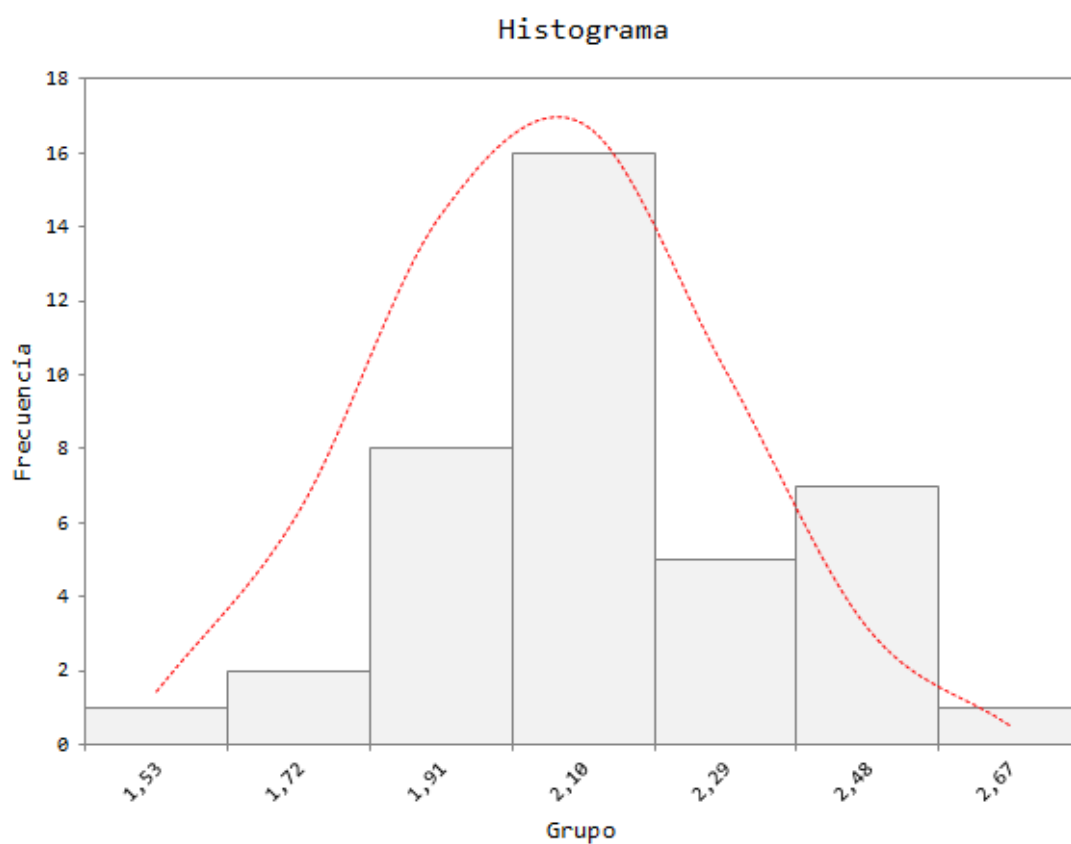


Figura 21: Histograma y ajuste a curva normal de la variable ITR

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR ITR	Inter-grupos	,234	3	,078	1,504	,230
	Intra-grupos	1,868	36	,052		
	Total	2,102	39			

Tabla 23: Análisis Anova del Índice tallo raíz

Según el análisis ANOVA de la tabla 23 y la figura 22, se puede ver que en el índice de tallo-raíz no se observan variaciones significativas.

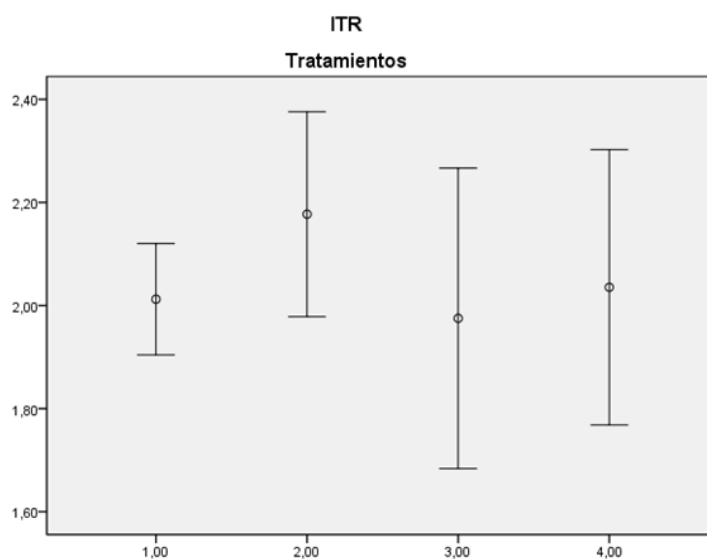


Figura 22: barras de error inferenciales del índice de tallo raíz

4.1.2.4 Índice de calidad de Dickson (QI)

Descriptivos QI	
Cuenta	40
Promedio	0,6978
Desviación	0,1212
Varianza	0,0147
Curtosis	-0,7259
Sesgo	0,0924
Mínimo	0,4700
Máximo	0,9300
Rango	0,4600
Norm (p-valor)	0,3335

Tabla 24: Descriptivos de la variable QI en los cuatro tratamientos

Para el índice de Dickson podemos ver en la tabla 14 como llega a valores más altos para el tratamiento mezcla perlita y vermiculita, mientras que se dan valores menores en el tratamiento 1 de turba rubia.

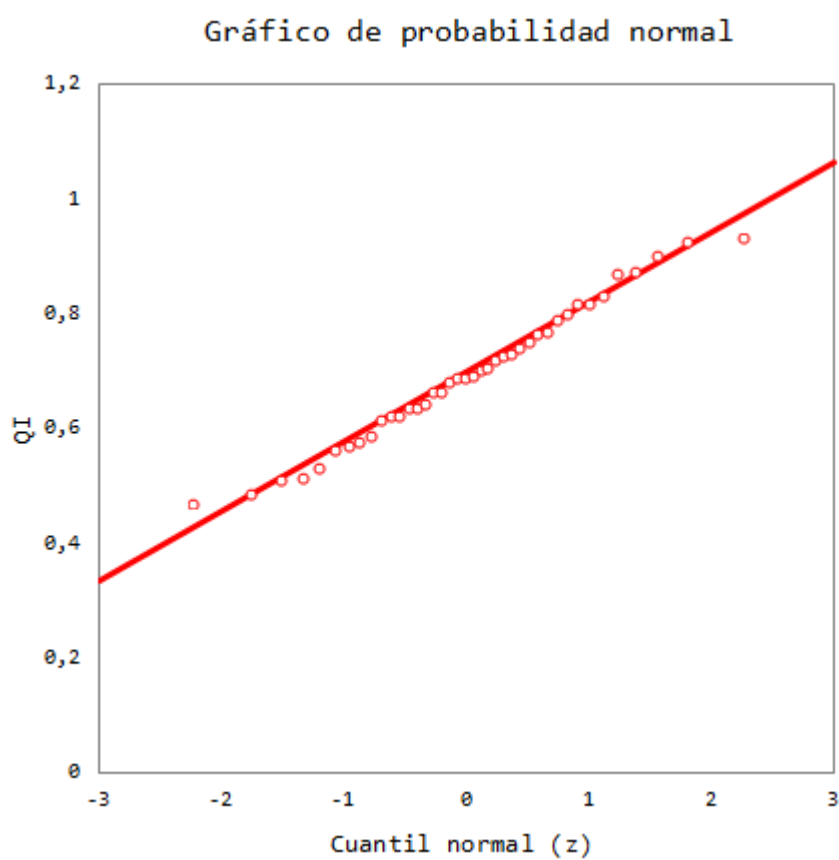


Figura 23: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable QI

Una vez comprobada la normalidad de los datos del índice de Dickson, como se aprecia en las figuras 23 y 24, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos

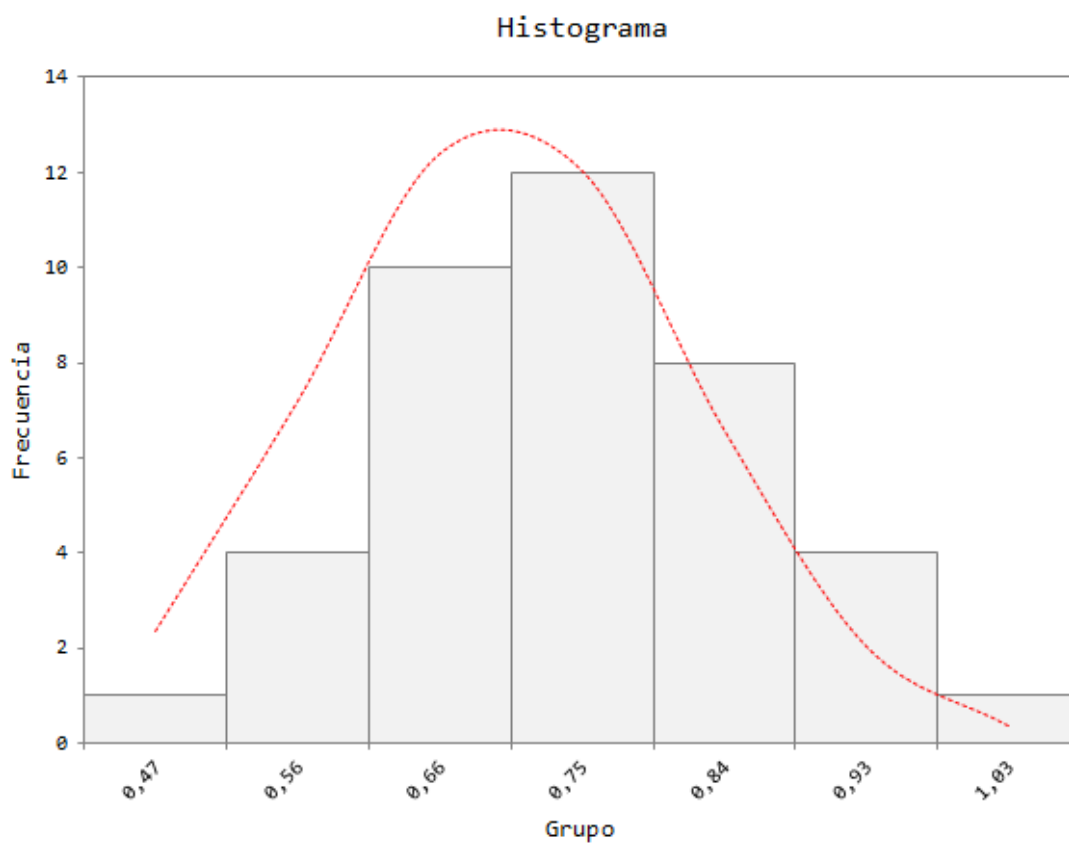


Figura 24: Histograma y ajuste a curva normal de la variable QI

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR QI	Inter-grupos	,093	3	,031	2,309	,093
	Intra-grupos	,484	36	,013		
	Total	,577	39			

Tabla 25: Análisis Anova del Índice de Dickson

Según el análisis ANOVA de la tabla 25 y la figura 25, se puede ver que en el índice de tallo-raíz no se observan variaciones significativas.

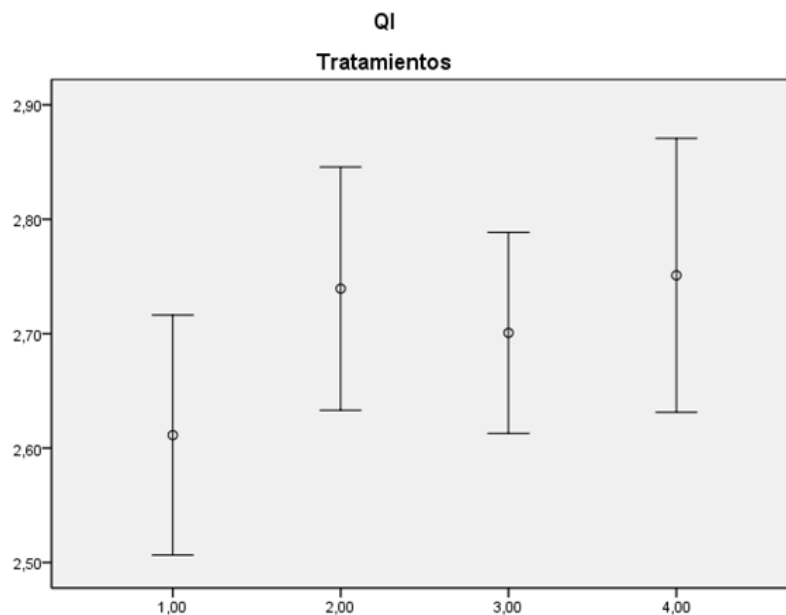


Figura 25: barras de error inferenciales del índice de Dickson

4.1.2.5 Diámetro en el cuello de la raíz

Descriptivos DIÁMETRO (mm)	
Cuenta	40
Promedio	3,8300
Desviación	0,5761
Varianza	0,3319
Curtosis	-0,7449
Sesgo	-0,0984
Mínimo	2,7000
Máximo	4,8000
Rango	2,1000
Norm (p-valor)	0,3199

Tabla 26: Descriptivos de la variable diámetro en los cuatro tratamientos.

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 14 y 26 como todos los tratamientos aplicados dan valores tanto en promedio como en desviación estándar por encima de los valores mínimos marcados en el REAL DECRETO 289/2003, que nos indica un mínimo de 3 mm de diámetro para la especie *Pinus halepensis*. Vemos que los mejores resultados

promedio los tendríamos en los tratamientos 2 y 3 pero las diferencias no se pueden considerar significativas como nos aclara el análisis Anova de la tabla 27.

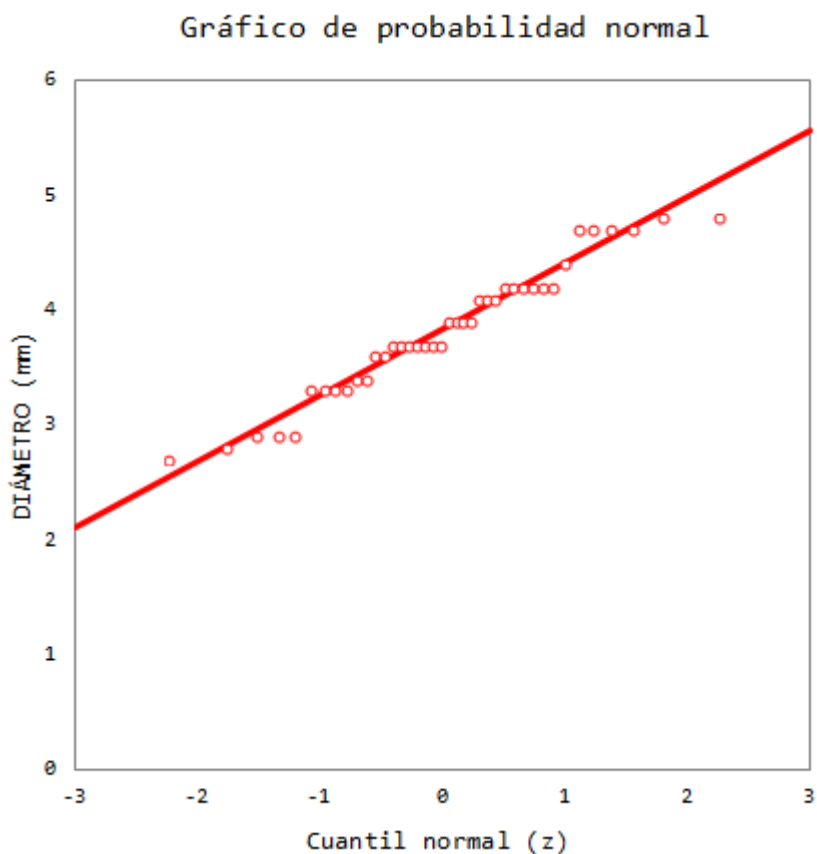


Figura 26: Gráfica de la prueba de normalidad en la variable diámetro (mm)

Una vez comprobada la normalidad de los datos de los diámetros medidos en el cuello de la raíz, como se aprecia en las figuras 26 y 27, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

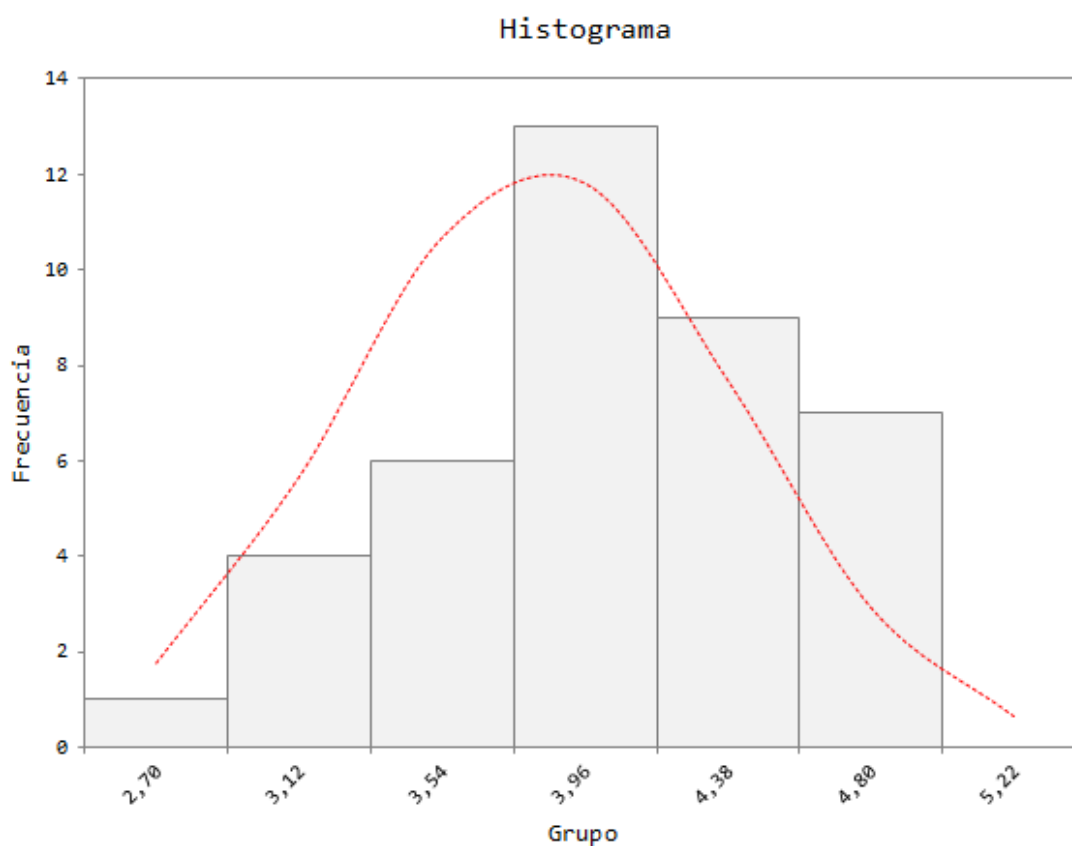


Figura 27: Histograma y ajuste a curva normal de la variable diámetro (mm).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR diámetro	Inter-grupos	2,034	3	,678	2,237	,101
	Intra-grupos	10,910	36	,303		
	Total	12,944	39			

Tabla 27: Análisis Anova del diámetro en el cuello de la raíz

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 9 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto a los diámetros es elevada. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico del diámetro medido en el cuello de la raíz para la especie *Pinus halepensis*.

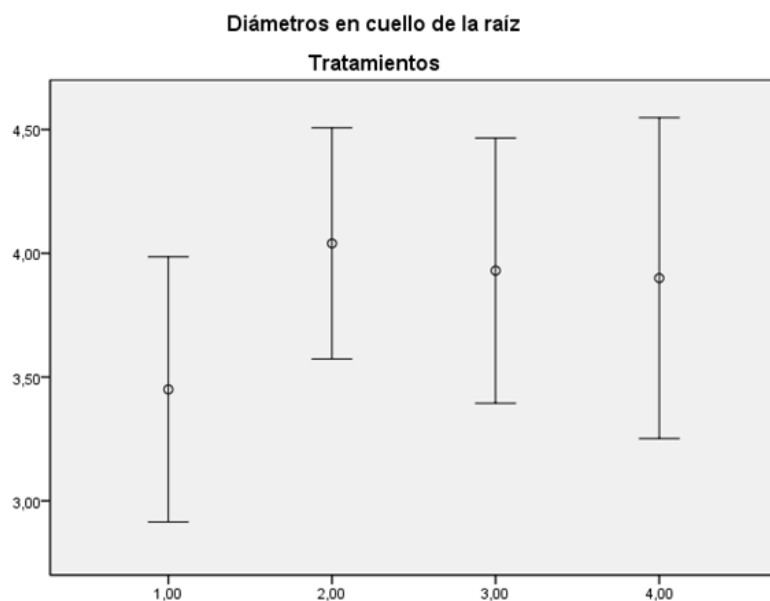


Figura 28: Barra de errores del diámetro en todos los tratamientos

4.1.2.6 Altura

Descriptivos ALTURA (mm)	
Cuenta	40
Promedio	354,1750
Desviación	18,1770
Varianza	330,4045
Curtosis	-0,5395
Sesgo	0,4826
Mínimo	323,0000
Máximo	398,0000
Rango	75,0000
Norm (p-valor)	0,1534

Tabla 28: Descriptivos de la variable altura en los cuatro tratamientos

Podemos apreciar en los resultados de la tabla 14 como todos los tratamientos aplicados dan valores tanto en promedio como en desviación estándar por encima de los valores mínimos marcados en el REAL DECRETO 289/2003, que nos indica un mínimo de 120 mm y un máximo de 400 mm de altura para la especie *Pinus halepensis*. Vemos que los mejores resultados promedio los tendríamos en el tratamiento 1 pero las diferencias no se

pueden considerar significativas como nos aclara el análisis Anova de la tabla 29. Este incremento podría deberse al aumento de materia orgánica que se da al haber un 10% más de componente orgánico en el sustrato del tratamiento 1.

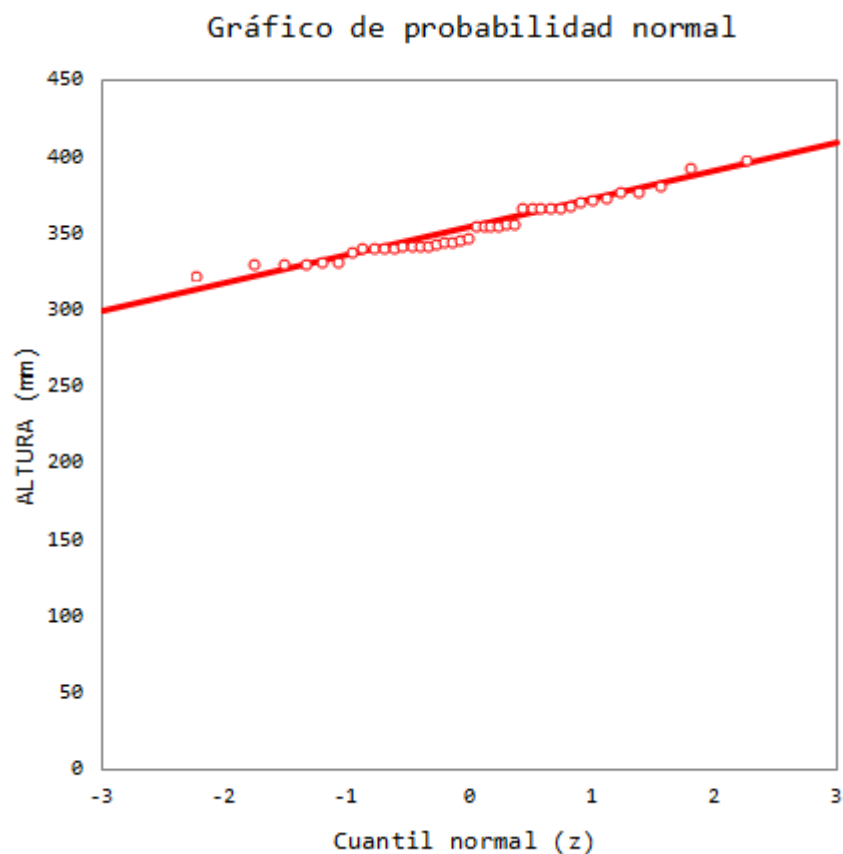


Figura 29: Gráfica de la prueba de normalidad de la altura

Una vez comprobada la normalidad de los datos de las alturas, como se aprecia en las figuras 29 y 30, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

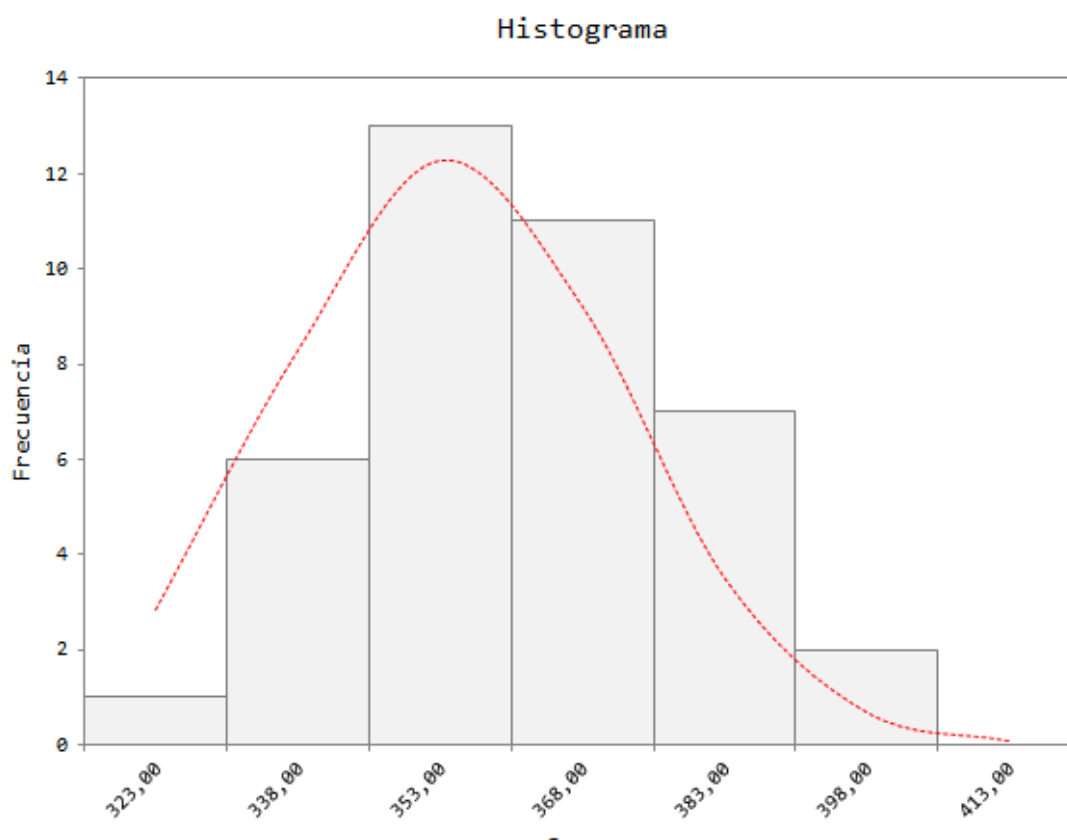


Figura 30: Histograma y ajuste a curva normal de la variable altura (mm).

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 29 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto a la altura es alta, exactamente del 47,4%. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico de la altura para la especie *Pinus halepensis*.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR altura	Inter-grupos	856,075	3	285,358	,854	,474
	Intra-grupos	12029,700	36	334,158		
	Total	12885,775	39			

Tabla 29: : Análisis Anova de la altura

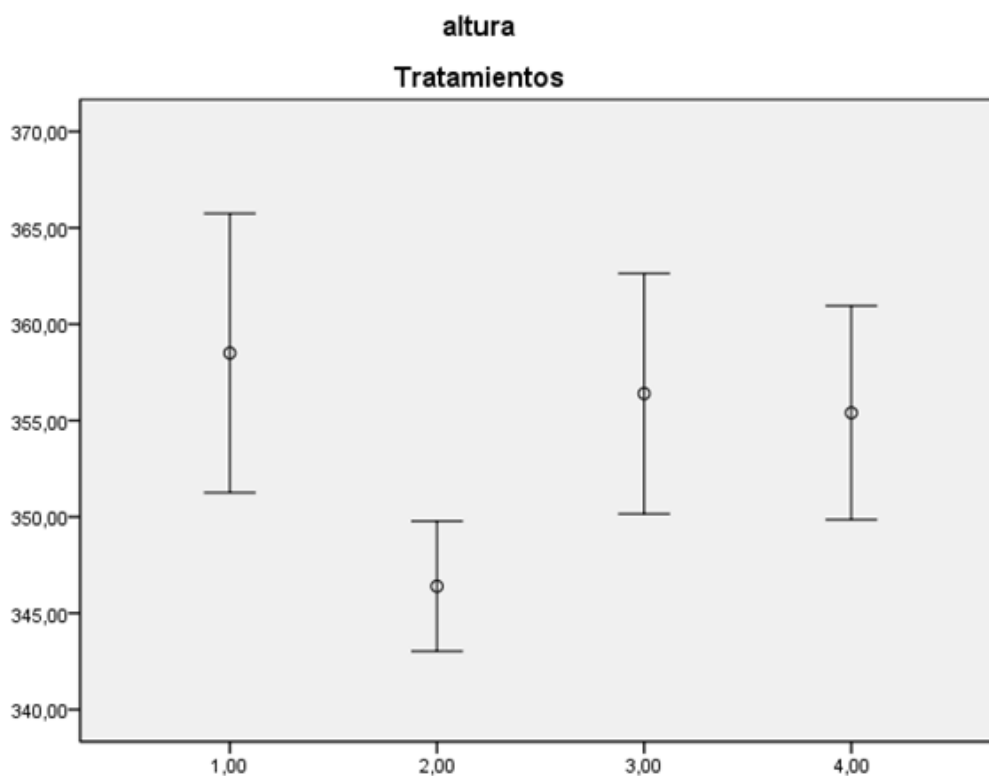


Figura 31: Barra de errores de la altura en todos los tratamientos

4.1.2.7 Peso seco de la parte aérea

Descriptivos PSA (gr)	
Cuenta	40
Promedio	5,4000
Desviación	0,4815
Varianza	0,2318
Curtosis	-0,0786
Sesgo	-0,4604
Mínimo	4,1000
Máximo	6,2000
Rango	2,1000
Norm (p-valor)	0,2328

Tabla 30: Descriptivos de la variable peso seco de la parte aérea en los cuatro tratamientos

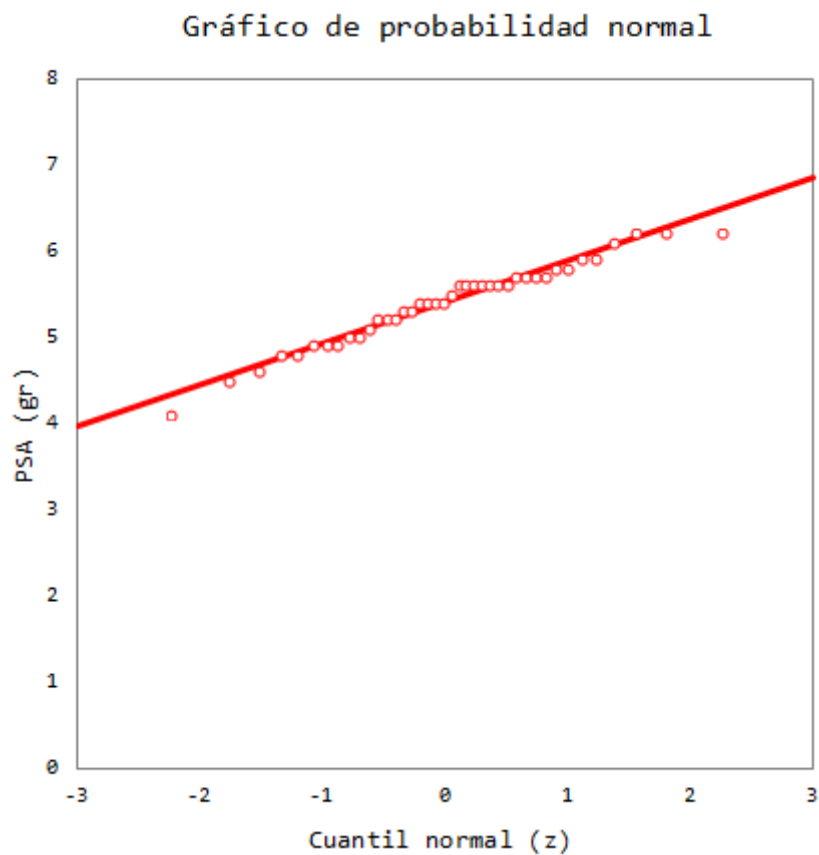


Figura 32: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable peso seco de la parte aérea

Una vez comprobada la normalidad de los datos de los pesos secos en la parte aérea, como se aprecia en las figuras 32 y 33, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

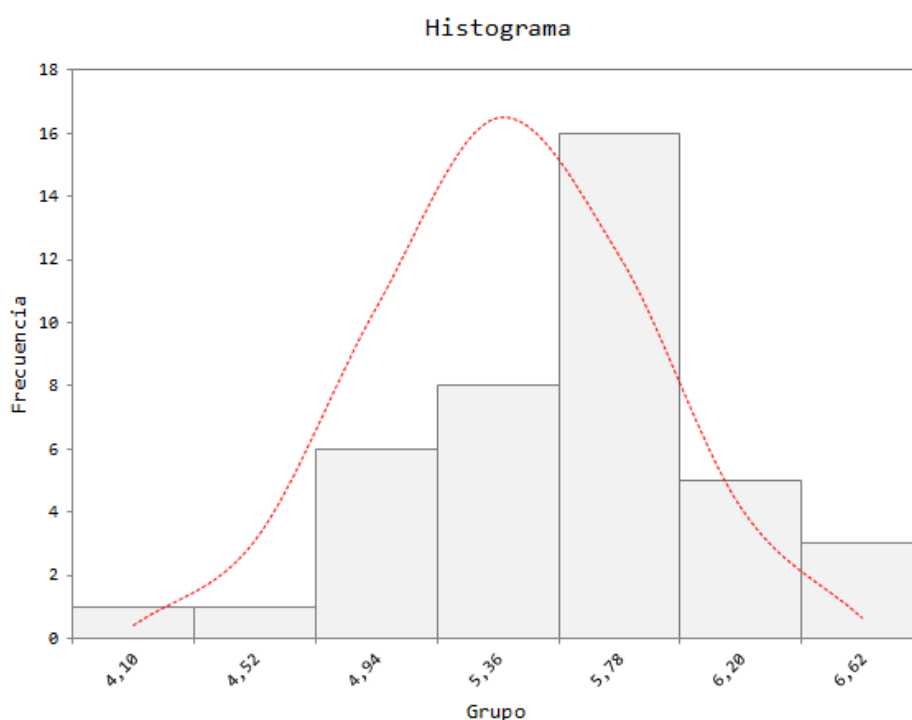


Figura 33: Histograma y ajuste a curva normal de la variable peso seco de la parte aérea

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 31 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto al peso seco de la parte aérea es alta, exactamente del 16,0%. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico del peso seco de la parte aérea para la especie *Pinus halepensis*.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR PSA	Inter-grupos	1,194	3	,398	1,826	,160
	Intra-grupos	7,846	36	,218		
	Total	9,040	39			

Tabla 31: Análisis Anova del peso seco parte aérea

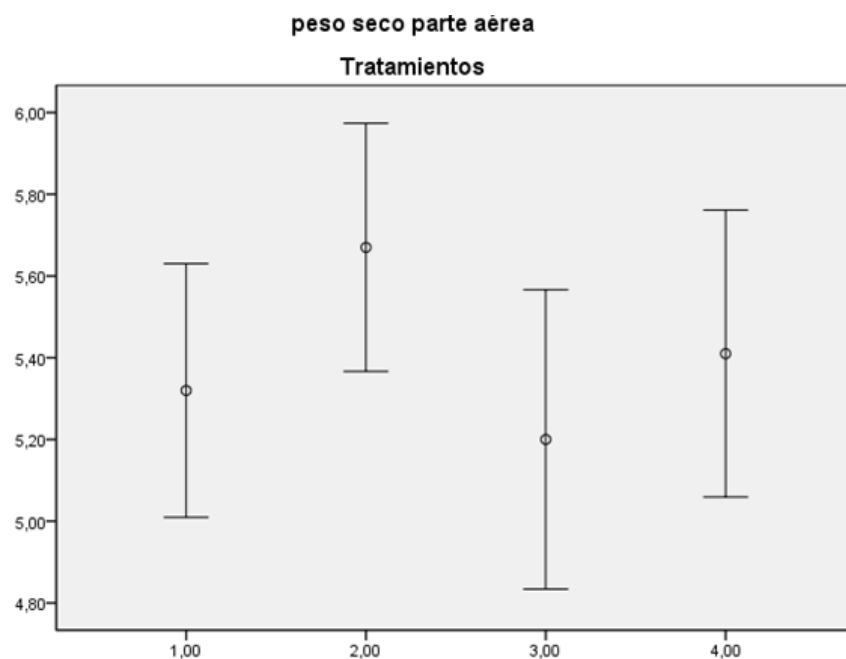


Figura 34: Barra de errores del peso seco de la parte aérea en todos los tratamientos

4.1.2.8 Peso seco de la raíz

Descriptivos PSR(gr)	
Cuenta	40
Promedio	2,6525
Desviación	0,2582
Varianza	0,0667
Curtosis	-0,8001
Sesgo	0,0920
Mínimo	2,2000
Máximo	3,2000
Rango	1,0000
Norm (p-valor)	0,2892

Tabla 32: Descriptivos de la variable peso seco de la raíz en los cuatro tratamientos

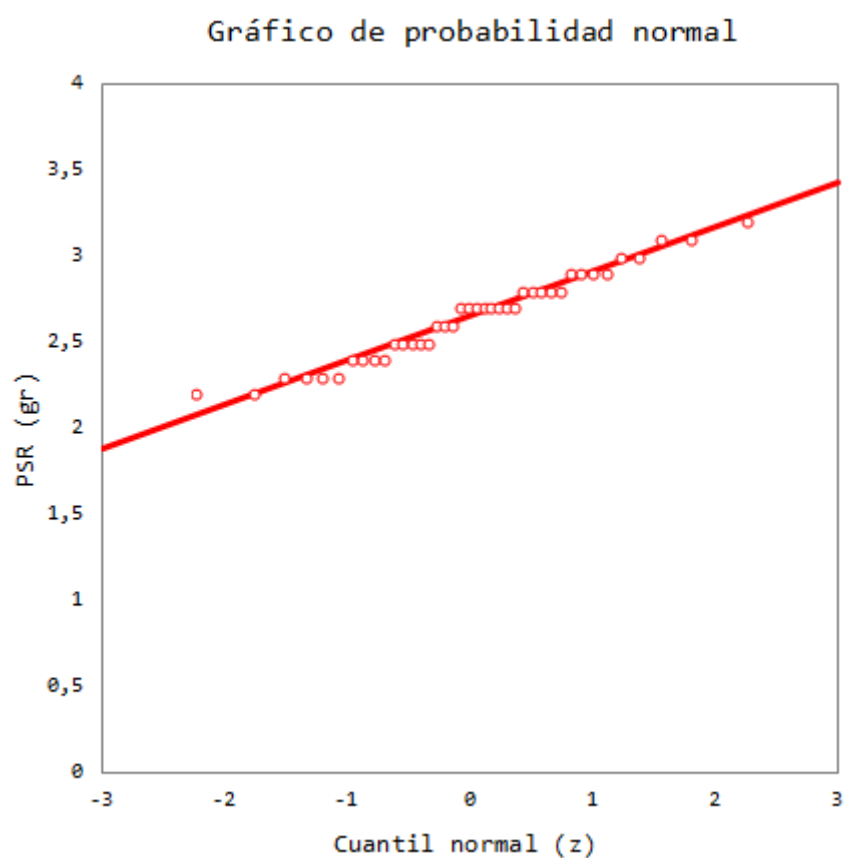


Figura 35: Gráfica de la prueba de normalidad de la variable peso seco de la raíz

Una vez comprobada la normalidad de los datos de los pesos secos de la raíz, como se aprecia en las figuras 35 y 36, tratamos de ver si existen diferencias significativas a través de un análisis Anova de dichos datos.

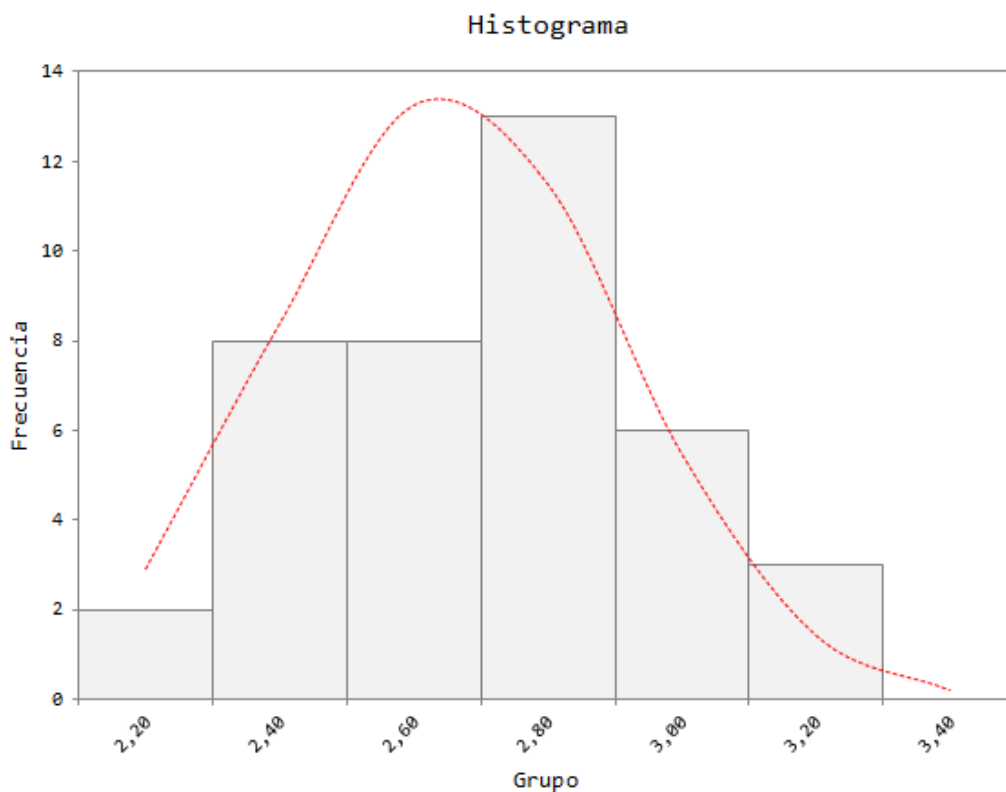


Figura 36: Histograma y ajuste a curva normal de la variable peso seco de la raíz

Una vez realizado el análisis Anova vemos en los resultados de la tabla 33 como la probabilidad de que los tratamientos sean iguales respecto al peso seco de la raíz es muy alta, exactamente del 96,7%. Con lo que nos despeja el resultado de que no existen diferencias significativas en utilizar turba rubia o cualquier mezcla de las propuestas con perlita y vermiculita, en lo que respecta al atributo morfológico del peso seco de la raíz para la especie *Pinus halepensis*.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
VAR PSR	Inter-grupos	,019	3	,006	,087	,967
	Intra-grupos	2,581	36	,072		
	Total	2,600	39			

Tabla 33. Análisis ANOVA de datos del índice del peso seco de la raíz

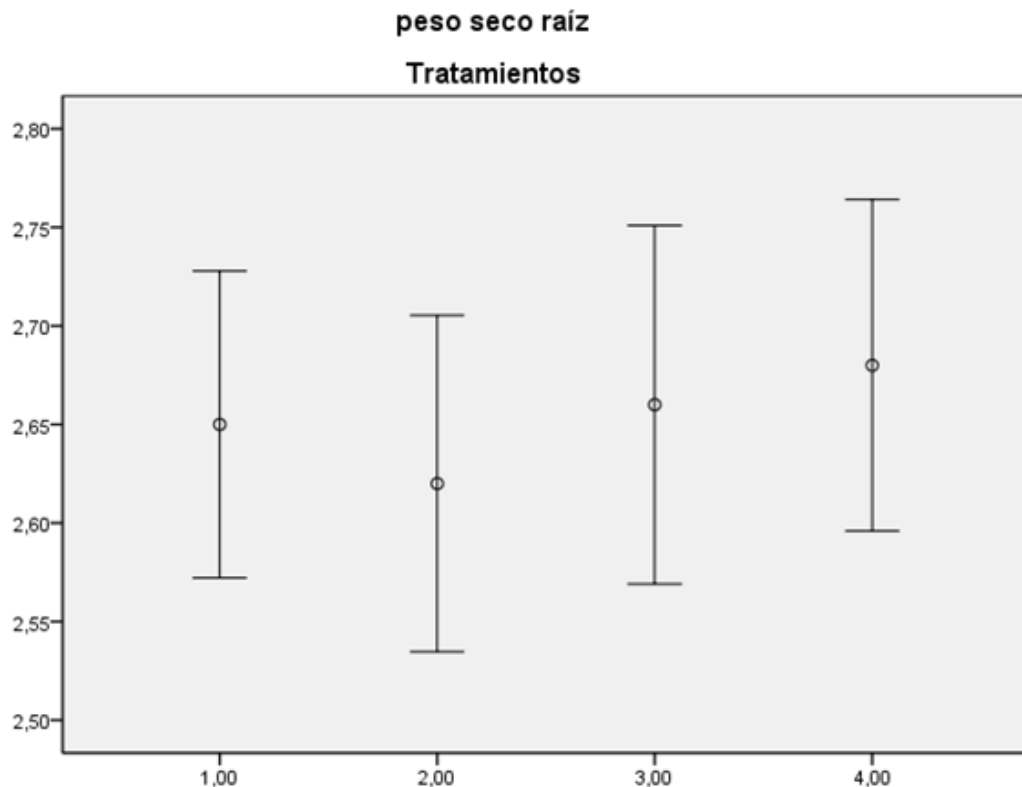


Figura 37: Barra de errores del peso seco de la raíz en todos los tratamientos

La morfología de una planta cultivada en contenedor en un vivero forestal es el resultado de las características genéticas de las plantas, las condiciones ambientales del vivero y las prácticas de cultivo empleadas, como la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreo, el régimen de fertilización y riego, las podas aéreas, etc. (Mexal y Landis, 1990). A través de este análisis, hemos modificado de una forma controlada la práctica de cultivo que es la preparación del sustrato, con el fin de observar los cambios que se producían en los atributos morfológicos de nuestra planta.

Los resultados del análisis nos muestran que no existen diferencia significativa entre usar cualquiera de los tratamientos propuestos en la mayoría de las variables e índices medidos, salvo en el índice de esbeltez. Según Willson (1983) y Olivo *et al.* (2006) el cultivo de plantas en contenedor está muy influenciado por las propiedades físicas de los sustratos, estas diferencias en aireación, capacidad de retención de agua y contenido de materia orgánica, modifican los productos obtenidos, pero se ha podido constatar que la producción

de sustratos con estas proporciones en turba, vermiculita y perlita, no proporcionan una mejora marcada en la calidad.

Probablemente, utilizar volúmenes de contenedor tan por encima del mínimo establecido para esta especie (200cc) hace que las condiciones de los tratamientos más económicos sean suficientes para alcanzar los criterios de calidad establecidos para la especie.

Por otro lado hay referencias de que los componentes particulares de los sustratos no son tan importantes como las propiedades físicas resultantes y el manejo del medio (Marfà y Orozco, 1995). Esto nos hace pensar que en nuestra mezcla los valores físicos de los sustratos resultantes resultan ser muy semejantes, en lo que a producción de la planta se refiere, y hace que el resultado de los tratamientos sea semejante en cuanto a atributos morfológicos de la planta.

Si que se ha detectado un aumento no significativo de la altura en las plantas del tratamiento 1 que hace que haya un aumento significativo del índice de esbeltez en este tratamiento compuesto exclusivamente por turba rubia, debido principalmente por al aumento de materia orgánica sin una disminución de las características físicas del sustrato ideal.

Esto conlleva una pequeña mejora en el índice de esbeltez que lo diferencia de los demás sustratos, aun siendo todos ellos válidos en cuanto a valores de índices de esbeltez. La altura media puede ser manipulada en vivero a través de la fertilización, el riego y el repicado (Puértolas, 2003). A demás el tipo de producto que se ha conseguido es el mismo según se aprecia en las distribuciones de frecuencias.

Hay que hacer notar que en los cuatro tratamientos se obtiene un índice de esbeltez alto respecto a los valores de planta ideal, debido a una espaciamiento mayor de la planta en los alveolos del Forest Pot 300.

El aumento del coste para utilizar diferentes tipos de componentes en la preparación de sustratos cuando se hace en este volumen de contenedor y en estas proporciones trabajadas no proporciona una mejora de los atributos morfológicos en plantas de *Pinus halepensis* con lo que resulta contraproducente frente al tratamiento más económico, que sería el de turba rubia, que además genera una mejoría en el índice de esbeltez.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

4.1.3 Correlación de variables

		Correlaciones							
		VAR diámetro	VAR altura	VAR IE	VAR IE SCH	VAR PSA	VAR PSR	VAR ITR	VAR QI
VAR diámetro	Correlación de Pearson	1	,003	-,722	,979	,798	,387	,298	,834
	Sig. (bilateral)		,985	,000	,000	,000	,014	,062	,000
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR altura	Correlación de Pearson	,003	1	,219	-,201	,021	-,001	,006	-,177
	Sig. (bilateral)	,985		,079	,214	,897	,996	,972	,442
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR IE	Correlación de Pearson	-,722	,219	1	-,753	-,617	-,170	-,350	-,919
	Sig. (bilateral)	,000	,079		,000	,000	,072	,061	,000
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR Índice de esbeltez de Schmidt	Correlación de Pearson	,979	-,201	-,753	1	,778	,383	,287	,855
	Sig. (bilateral)	,000	,214	,000		,000	,015	,072	,000
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR PSA	Correlación de Pearson	,798	,021	-,617	,778	1	,264	,563	,775
	Sig. (bilateral)	,000	,897	,000	,000		,100	,000	,002
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR PSR	Correlación de Pearson	,387	-,001	-,170	,383	,264	1	-,642	,456
	Sig. (bilateral)	,014	,996	,072	,015	,100		,000	,000
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR ITR	Correlación de Pearson	,298	,006	-,350	,287	,563	-,642	1	,226
	Sig. (bilateral)	,062	,972	,061	,072	,000	,000		,008
	N	40	40	40	40	40	40	40	40
VAR QI	Correlación de Pearson	,834	-,177	-,919	,855	,775	,456	,226	1
	Sig. (bilateral)	,000	,442	,000	,000	,002	,000	,008	
	N	40	40	40	40	40	40	40	40

Tabla 34. Correlaciones de datos de los atributos morfológicos e índices de calidad en los cuatro tratamientos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL

A continuación se presenta un cuadro con las correlaciones altas y significativas a nivel del 0,01%, para poder identificar las correlaciones más elevadas entre las variables propuestas.

Correlaciones

		diametro	altura	IE	IE SCH	PSA	PSR	ITR	QI
diametro	Correlación de Pearson	1	,003	-,722	,979	,798	,387	,298	,834
altura	Correlación de Pearson	,003	1	,219	-,201	,021	-,001	,006	-,177
IE	Correlación de Pearson	-,722	,219	1	-,753	-,617	-,170	-,350	-,919
Índice de Schmidt	Correlación de Pearson	,979	-,201	-,753	1	,778	,383	,287	,855
PSA	Correlación de Pearson	,798	,021	-,617	,778	1	,264	,563	,775
PSR	Correlación de Pearson	,387	-,001	-,170	,383	,264	1	-,642	,456
ITR	Correlación de Pearson	,298	,006	-,350	,287	,563	-,642	1	,226
QI	Correlación de Pearson	,834	-,177	-,919	,855	,775	,456	,226	1

Tabla 35: Cuadro de correlaciones altas y significativas a nivel del 0,01

Según Villar (2003 a), la calidad morfológica de una planta hace referencia a un conjunto de caracteres, tanto de naturaleza cualitativa como cuantitativa, sobre la forma y estructura de la planta. La morfología de una planta cultivada en contenedor en un vivero forestal es el resultado de las características genéticas de las plantas, las condiciones ambientales del vivero y las prácticas de cultivo empleadas, como la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreo, el régimen de fertilización y riego, las podas aéreas, etc. (Mexal y Landis, 1990). Se han empleado multitud de atributos morfológicos cuantitativos para caracterizar la calidad de una planta. Los más utilizados han sido la altura de la parte aérea, el diámetro del cuello de la raíz y los pesos secos de la raíz y la parte aérea (Chavasse, 1980; Puttonen, 1997; South, 2000), todos ellos descriptores del grado de desarrollo de las partes aérea y radical. También se han usado índices o relaciones morfológicas, que son combinaciones de dos o más atributos morfológicos,

siendo la esbeltez (cociente entre la altura y el diámetro en el cuello de la raíz) y la relación entre el peso seco de la parte aérea y la radical (PA/PR) los más empleados. El reto es determinar qué atributos morfológicos son los más apropiados para medir la *calidad funcional* de una planta, pues la mayoría de ellos están muy correlacionados entre sí (por ejemplo, el diámetro en el cuello de la raíz se correlaciona con el peso seco radical o la altura de la planta).

El diámetro medido en el cuello de la raíz, según vemos en la tabla 34 de correlaciones, es una variable que correlaciona fuertemente por un lado con todos los índices de los que forma parte, pero como punto importante, con el peso seco de la parte aérea. Por lo que el diámetro puede utilizarse como un buen indicador de la calidad de la planta, en cuanto al tamaño de la planta y la medida de espaciamiento del área basimétrica, que relaciona estos diámetros con el espacio que dispone cada planta. Así a menor espaciamiento, se generarán plantas más ahiladas, lo que supondrá una calidad de planta menor. La planta de tamaño y proporción de parte aérea media o grande tiende a mostrar una mejor respuesta al establecimiento, o por lo menos, una respuesta igual a la de pequeño tamaño (Navarro *et al.*, 2006).

Por el contrario, la altura vemos que es una variable que se comporta de manera muy individual, no correlaciona con ninguna de las demás variables, e incluso tampoco lo hace con los índices de los que forma parte.

En cuanto al peso seco de la parte aérea y de la raíz, vemos como el peso seco de la raíz, no tiene ningún tipo de correlación fuerte, aunque si que lo hace de forma débil con los índices en los que aparece y el diámetro y la parte aérea. La parte aérea reacciona de la misma forma pero con mayor fuerza.

4.1.3.1 REGRESIONES DEL DIÁMETRO EN EL CUELLO DE LA RAÍZ

El diámetro es una variable que nos va a proporcionar una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas las temperaturas en la superficie del suelo (Cleary y Greaves, 1977). El diámetro está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y puede verse afectado por prácticas culturales como el repicado apical. (Birchler y Rose, 1998). Se considera un atributo morfológico interesante para evaluar la calidad de la planta ya que fue correlacionado con la supervivencia en *Pinus halepensis* (Cortina *et al.*, 1997).

Según el anexo VII del REAL DECRETO 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción se fijan los requisitos de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción, se establece para el *Pinus halepensis* un valor mínimo de diámetro en el cuello de la raíz de 3 mm, cosa que se consigue con los cuatro tratamientos. Resulta lógico ya que en el ensayo se utilizó contenedores de 300 cc, siendo el volumen de contenedor fijado en el Real Decreto de 200 cc., y como la densidad de cultivo baja al ser las dimensiones de la abertura del alveolo mayores, se consigue diámetros mayores.

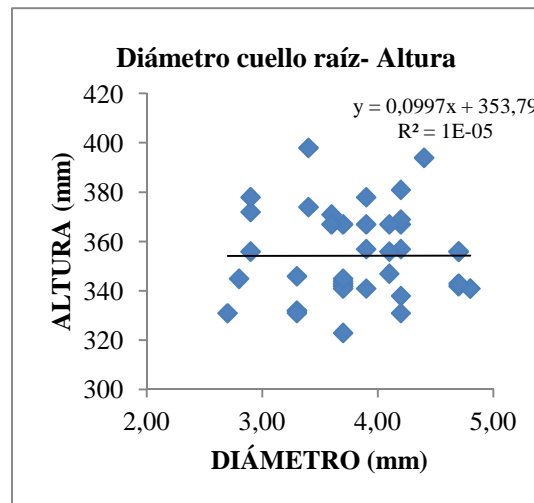


Figura 38: Regresión diámetro cuello raíz- altura

En la figura 38 se aprecia que es independiente el diámetro del cuello de la raíz de la altura que la planta alcance. Según Birchler y Rose (1998) la altura es fácil de medir pero no es muy informativa por sí sola. Ofrece sólo una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante, e ignora la arquitectura del tallo. En este caso vemos como realmente la altura ignora al diámetro en el cuello de la raíz, como representación de la arquitectura del tallo. Este resultado nos hace descartar cualquier tipo de correlación entre el diámetro de la planta medido en el cuello de la raíz y la altura de la parte aérea.

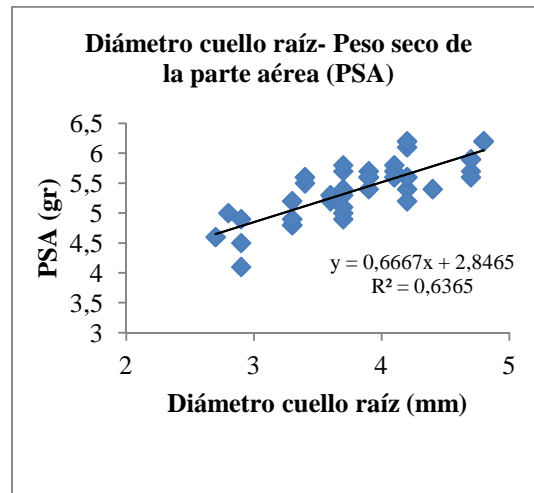


Figura 39: Regresión Diámetro cuello raíz- Peso seco de la parte aérea (PSA)

En este caso se ve en la figura 39 como a medida que crece el diámetro del cuello de la raíz, va aumentando el peso seco de la parte aérea. El diámetro en el cuello de la raíz puede darnos la idea del peso de la parte aérea. Sin embargo, en la regresión del peso seco de la parte aérea con la altura, no existe ningún tipo de correlación, con lo que el diámetro nos aporta más información como variable morfológica del tamaño de la parte aérea que la altura que tenga esa parte aérea.. Según Birchler y Rose (1998) en cuanto a las relaciones del crecimiento absoluto en altura con el tamaño aéreo de la planta, se observa que en la mayor parte de los casos las relaciones no son significativas y entre las relaciones significativas la mayoría son positivas. Ellos también vieron que existían este tipo de relaciones entre crecimiento en diámetro y el tamaño aéreo de la planta.

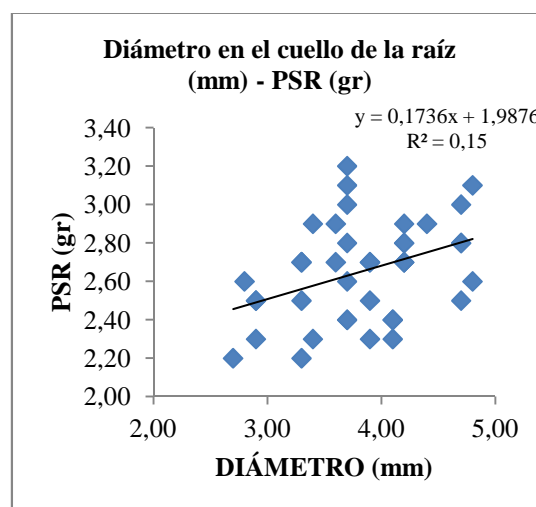


Figura 40: Regresión diámetro cuello raíz- peso seco de la raíz.

No existe ninguna relación entre el peso seco de la raíz y el diámetro en el cuello de la raíz según la regresión de la figura 40. Ya se ve en el cuadro de correlaciones que el peso seco de la raíz no suele tener correlación con ninguno de los atributos morfológicos que se han estudiado. Birchler y Rose (1998) vieron que igual que el peso seco de la parte aérea, el peso seco de la parte radical también estaba relacionado positivamente con el diámetro en el cuello de la raíz, cosa que ocurre de forma débil en nuestro ensayo. También en Navarro *et al.* (2006) se hace referencia a esta relación entre el diámetro del cuello de la raíz y el peso seco radicular.

Si que se ve como estas conclusiones se obtienen con planta de una savia con lo que puede atribuirse esta falta de correlación en nuestro ensayo al confinamiento que sufre la raíz en el crecimiento de la segunda savia si la primera ocupó gran parte del contenedor. El tamaño de contenedor y el tiempo de cultivo pueden producir variaciones en el crecimiento del sistema radical.

Uno de los inconvenientes del sistema de cultivo en contenedor es que limita el espacio del sistema radical interfiriendo en su crecimiento y produce deformaciones radicales (Marcelli, 1984). Estas deformaciones pueden hacerse patentes al año de cultivo o bien varios años después de la plantación (Marien y Drovin, 1978).

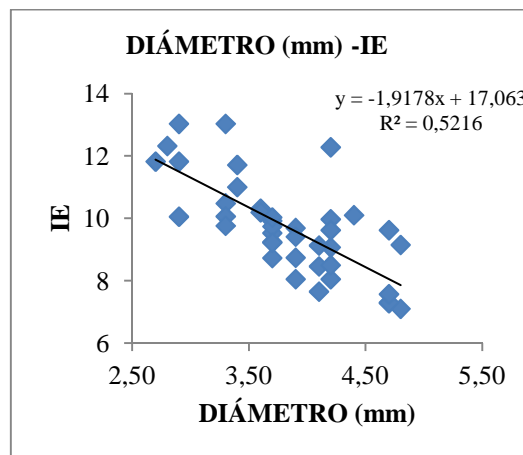


Figura 41: Regresión diámetro cuello raíz- Índice de Esbeltez

En la figura 41 vemos como existe relación entre las dos variables porque el diámetro forma parte de la fórmula de cálculo del índice de Esbeltez. La parte que se queda sin explicar en esta regresión la podríamos achacar a la altura de la planta, que como se ha visto previamente no tiene ningún tipo de correlación con el diámetro. A medida que el diámetro del cuello de la raíz crece, va disminuyendo el índice de esbeltez. Esto viene a confirmar que ambas variables son un claro reflejo de la densidad de cultivo.

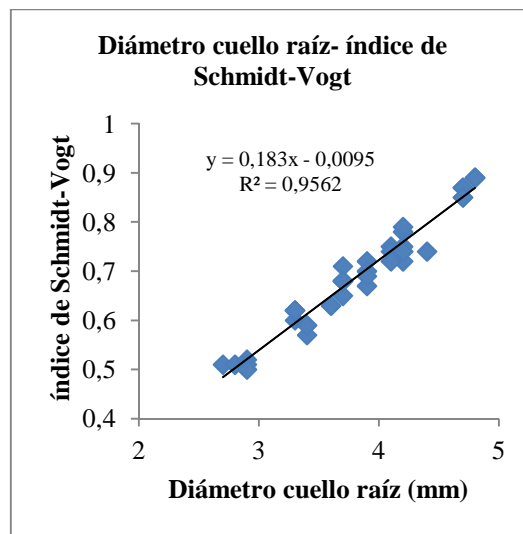


Figura 42: Regresión Diámetro cuello raíz- índice de Schmidt-Vogt

En este índice vemos como aún formando parte de su fórmula tanto el diámetro en el cuello de la raíz, como la altura, existe una relación muy fuerte del índice con el diámetro, pero como se puede ver en la figura 46 de la regresión entre la altura y el índice de Schmidt-Vogt no existe relación del índice con la altura.

En este índice, como vemos en la figura 42, podemos decir que el peso del diámetro es fundamental, con lo que casi podríamos asemejar la medición de esta variable con el cálculo del índice, la altura funcionaría como un mero corrector.

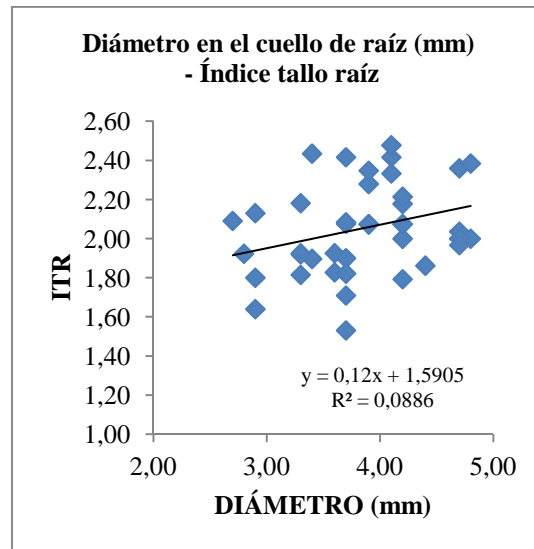


Figura 43: Regresión diámetro cuello raíz- ITR

No existe relación entre el ITR y el diámetro del cuello de la raíz, como se muestra en la regresión de la figura 43. Sabemos que este índice se suele utilizar para ver la calidad de la planta respecto a la supervivencia de las condiciones que sufrirá la planta durante el primer año de repoblación. Este parámetro puede ser de gran importancia cuando la plantación tiene lugar en estaciones difíciles, donde el factor más influyente sobre la supervivencia del primer año es una larga y cálida estación seca, con lo cual esta regresión hace pensar que el diámetro no nos dará mucha información sobre la calidad a corto plazo de la planta, o que esta calidad si se pueda conseguir con diferentes diámetros.

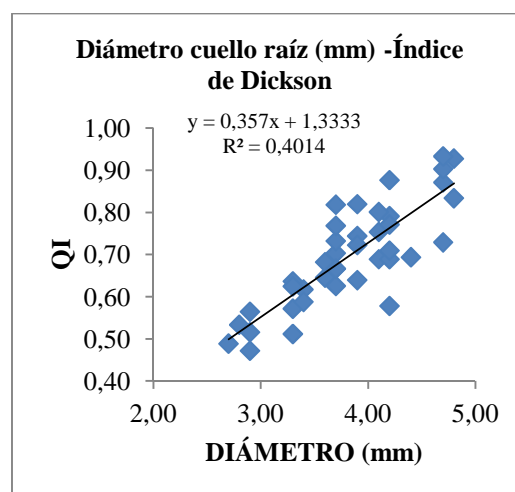


Figura 44: Regresión diámetro cuello raíz- índice de Dickson

Existe correlación entre las dos variables porque el diámetro forma parte de la fórmula de cálculo del índice de Dickson, pero esta relación se consideraría muy débil, según los datos de la figura 44.

4.1.3.2 REGRESIONES DE LA ALTURA

A la hora de recoger los datos sobre la altura, tenemos que saber que según Birchler y Rose (1998) la altura se trata de una variable que es fácil de medir pero no es muy informativa por sí sola, ofrece sólo una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante, e ignora la arquitectura del tallo. Además, la altura puede ser manipulada en vivero a través de la fertilización, el riego y el repicado, con lo que cualquier cambio sustancial en estas condiciones, puede hacer que la altura responda en uno u otro sentido.

Sin embargo, en clima seco Cortina *et al.* (1997) encontraron que la altura de las plantas *Pinus halepensis* fue directamente proporcional a su supervivencia, con unas alturas medias mínimas de 16 cm y 7,5 cm en plantas de una savia, descendiendo esta supervivencia si la altura media superaba los 17, 5 cm. Por eso la altura puede ser una variable interesante tanto sola, como formando parte de un índice de calidad.

Para nuestro ensayo, el anexo VII del REAL DECRETO 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción se fijan los requisitos de calidad exterior de los materiales forestales de reproducción, se establece para el *Pinus halepensis* un valor mínimo para la altura en plantas de dos savias de 12 centímetros y un valor máximo de 40 centímetros, en plantas con contenedor de 200cc y dos savias, con lo que vemos que nuestros tratamientos llegan a cumplir esos valores.

Existe una tendencia general entre los profesionales de la restauración forestal a recurrir a plantas más bien pequeñas, rechazando en lo posible las muy grandes. El razonamiento en el que se basa dicho criterio es que una vez trasplantada, el brinjal pequeño tenderá a gastar menos agua que el que tiene una parte aérea mayor (Villar, 2003 a). En nuestro caso, la altura media de los tratamientos, se aproxima a su valor máximo, con lo que si se utiliza como valor único, no sería muy bien recibida. Por otra parte, le unimos un alto valor del diámetro con lo que entraría en juego también esta variable y un contenedor mayor.

Vemos que la altura obtenida en nuestro ensayo no tiene ningún tipo de relación con el resto de variables ni con los índices, según las regresiones de las figuras desde la 45

hasta la 50 y previamente en la figura 38, aun cuando la altura forma parte de ellos. Por eso podemos decir que se comporta de una forma muy independiente. Aun en variables como el peso seco de la parte aérea, que entenderíamos que la altura fuese una variable que tuviese una fuerte influencia, vemos como la relación de ambas variables es nula. Por eso podemos decir que las alturas obtenidas, individualmente, no nos aportan gran información, pero unidas al resto de variables o formando parte de los índices, si que nos resultará interesante.

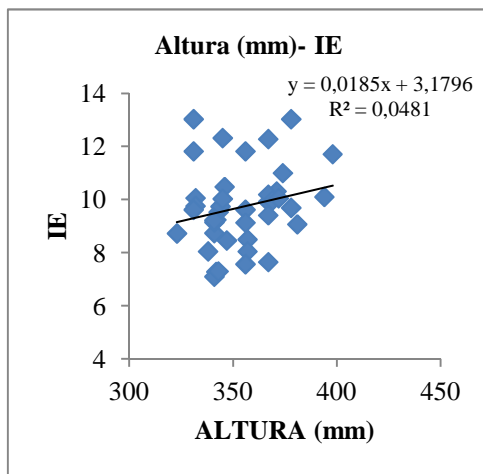


Figura 45: Regresión altura- índice de Esbeltez

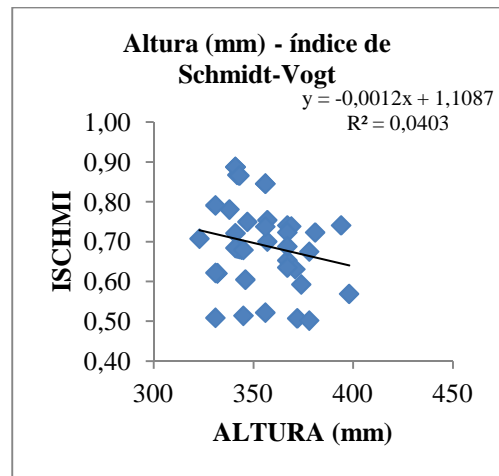


Figura 46: Regresión altura- índice de Schmidt-Vogt

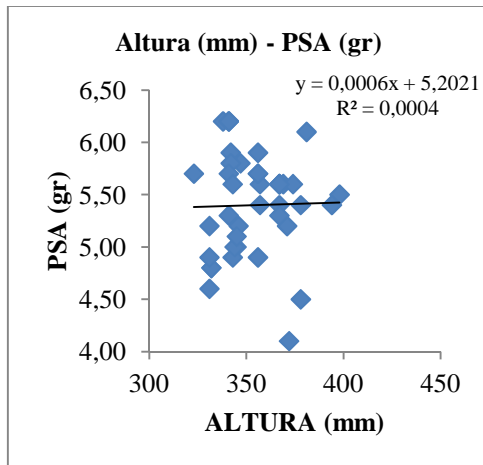


Figura 47: Regresión altura- Peso seco parte aérea

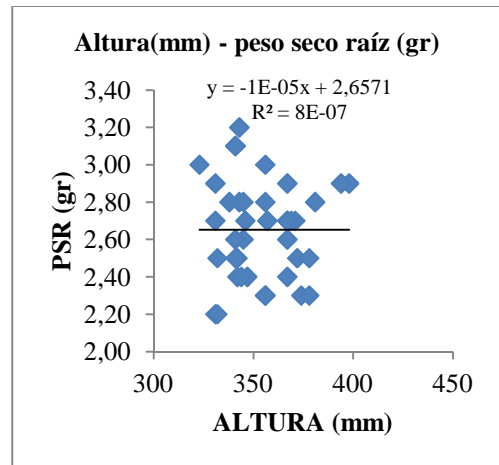


Figura 48: Regresión altura- peso seco raíz

En regresión entre la altura y el peso seco de la parte aérea, apreciamos como la altura es fácil de medir pero no es muy informativa por sí sola. Ofrece sólo una somera

aproximación del área fotosintetizante y transpirante, e ignora la arquitectura del tallo (Birchler,1998).

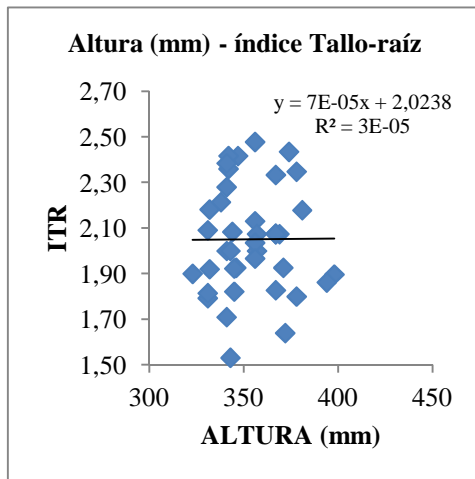


Figura 49: Regresión altura- ITR

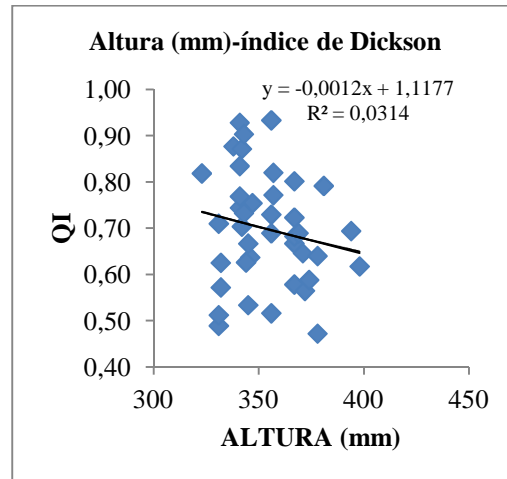


Figura 50: Regresión altura- índice de Dickson

4.1.3.3 REGRESIONES DEL ÍNDICE DE ESBELTEZ

El índice de Esbeltez, es la relación entre la altura de la planta (cm) y su diámetro (mm), siendo un indicador de la densidad de cultivo. En *Pinus halepensis* este cociente se encuentra entre 3,8-7,6 , (Oliet *et al.*,1997) o 3,21-5,35 (Puértolas *et al.*,2003). En nuestro ensayo vemos como el promedio del índice de Esbeltez es superior respecto a estos valores. Como vimos anteriormente, tanto los valores promedio del diámetro en el cuello de la raíz, como sobre todo la altura, eran valores dentro de los rangos pero muy por encima de estos. Todo ello lleva a tener unos índices de esbeltez en todos los tratamientos bastante elevados.

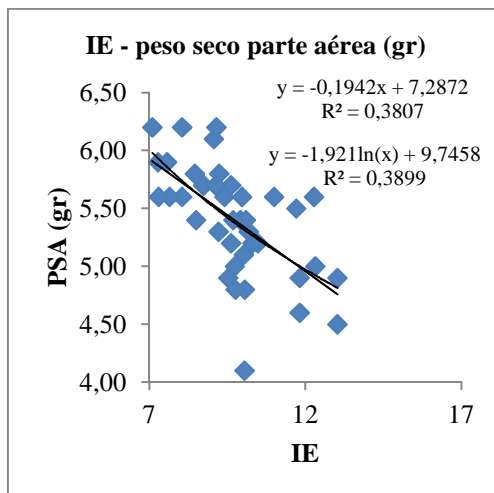


Figura 51: Regresión Índice de Esbeltez- PSA

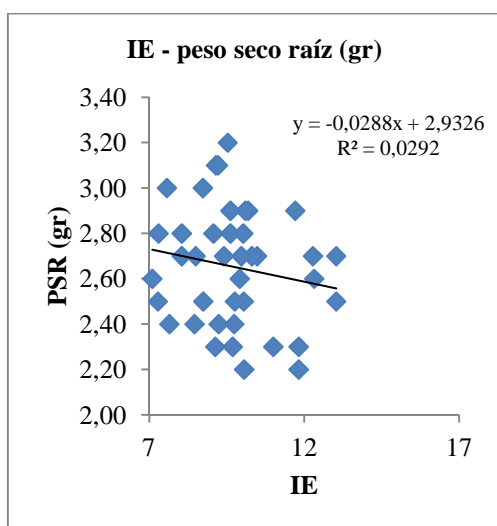


Figura 52: Regresión Índice de Esbeltez- PSR

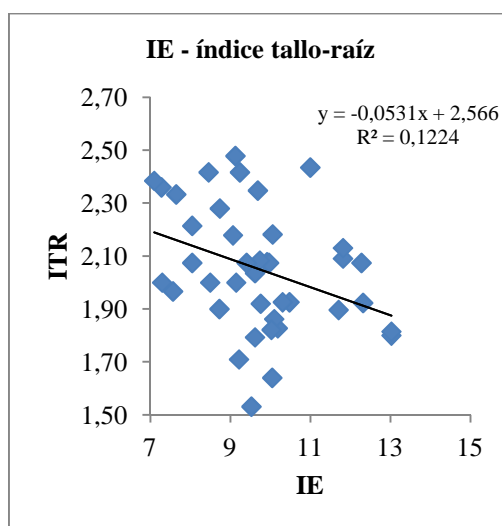


Figura 53: Regresión Índice de Esbeltez- ITR

Se puede apreciar en las figuras 51,52 y 53 como no existe relación entre el índice de esbeltez y cualquier forma de medición por peso, ya sea a través de los pesos secos de la parte aérea y radical, como a través del índice tallo-raíz. Las nubes de puntos de estas regresiones no se aprecia ningún tipo de relación entre las variables.

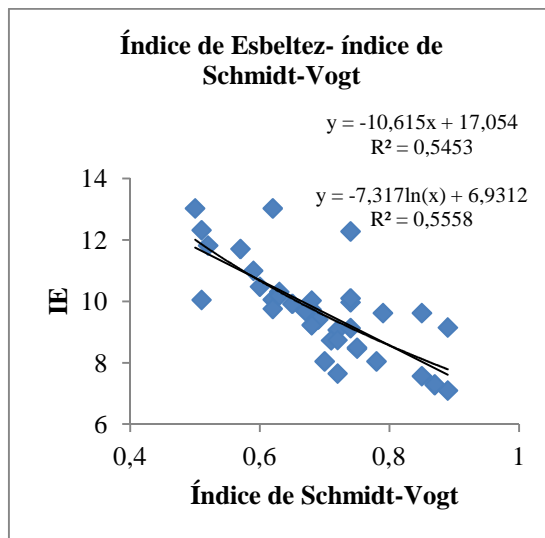


Figura 54: Regresión IE- índice de Schmidt-Vogt

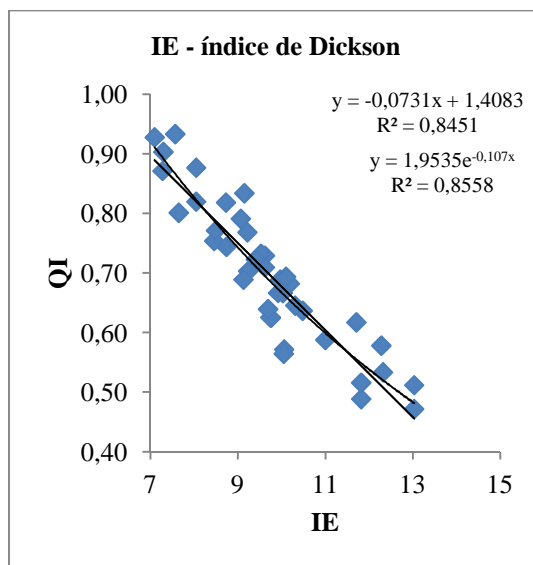


Figura 55: Regresión Índice de Esbeltez- índice de Dickson

Sólo se denota en las figuras 54 y 55 relación con índices en los que forma parte y en especial con el diámetro en el cuello de la raíz vista esta relación en la figura 41. A medida que el diámetro del cuello de la raíz crece, va disminuyendo el índice de esbeltez. Esto viene a confirmar que ambas variables son un claro reflejo de la densidad de cultivo.

4.1.3.4 REGRESIONES DEL PESO DE LA PARTE AÉREA Y EL PESO SECO RADICULAR

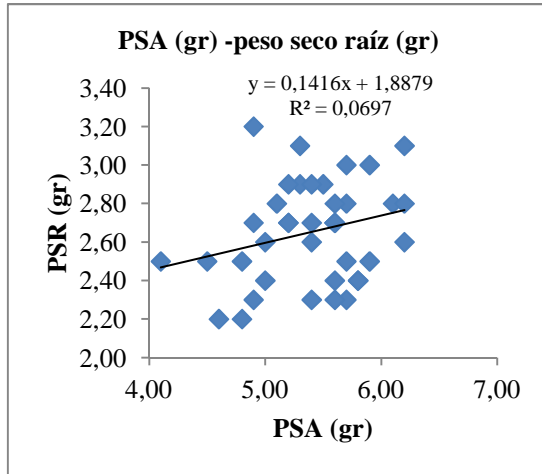


Figura 56: Regresión PSA - PSR

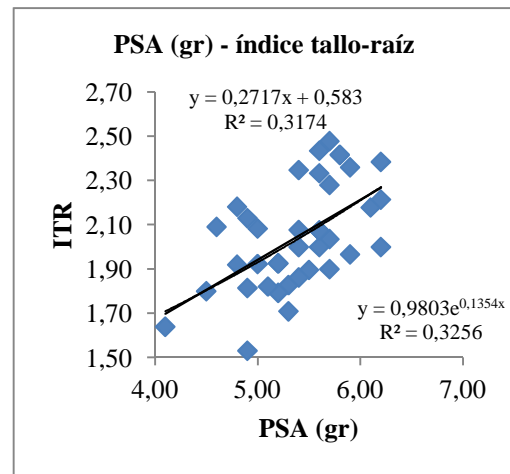


Figura 57: Regresión PSA - ITR

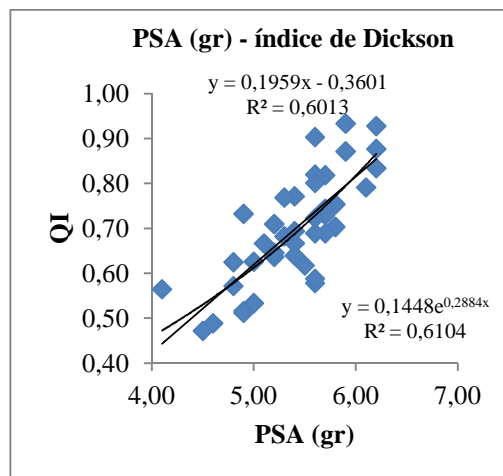


Figura 58: PSA - índice de Dickson

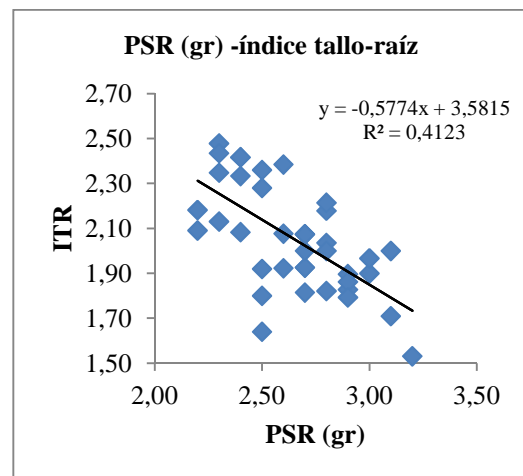


Figura 59: Regresión PSR - ITR

Según Birchler y Rose (1998) en cuanto a las relaciones del crecimiento absoluto en altura con el tamaño aéreo de la planta, se observa que en la mayor parte de los casos las relaciones no son significativas y entre las relaciones significativas la mayoría son positivas, como ocurre entre el peso seco de la parte aérea y el diámetro. Así lo hemos podido comprobar en las regresiones de las figuras 39 y 47, donde vemos como no existe una relación significativa con la altura pero si con el diámetro en el cuello de la raíz, en la cual, al crecer el diámetro aumenta el valor del peso seco de la parte aérea.

Por otra parte vemos en las figuras 56 y 57, como el peso seco de la parte aérea no tiene relación ni con el peso seco de la raíz ni con el índice tallo-raíz del que forma parte. Si que presenta mayor relación con el índice de Dickson (figura 58).

No ocurre lo mismo entre el peso seco del sistema radical y el diámetro, con lo que vemos que no se comporta como se espera. En general se aprecian mayores interacciones con el PSA que con el PSR.

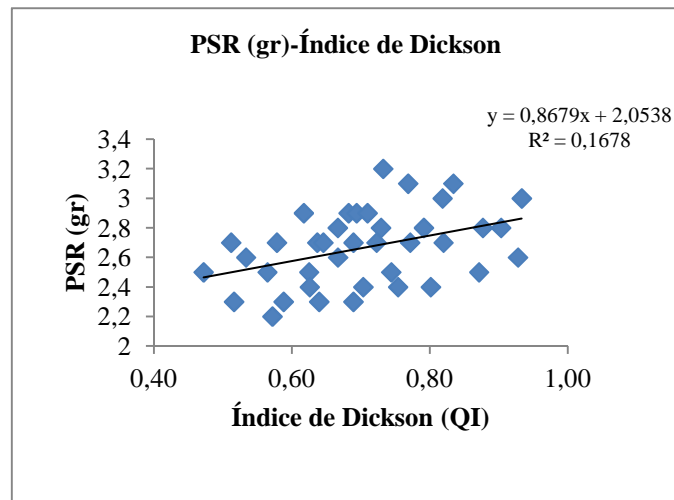


Figura 60: Regresión PSR e Índice de Dickson

En cuanto a las relaciones del peso seco de la raíz, vemos que no llega a relacionar con ninguno de los valores. No existe ninguna relación entre el peso seco de la raíz y el resto de variables. Ya se ve en el cuadro de correlaciones que el peso seco de la raíz no suele tener correlación con ninguno de los atributos morfológicos que se han estudiado. Birchler y Rose (1998) vieron que igual que el peso seco de la parte aérea, el peso seco de la parte radical también estaba relacionado positivamente con el diámetro en el cuello de la raíz, cosa que ocurre de forma débil en nuestro ensayo. También en Navarro *et al.* (2006) se hace referencia a esta relación entre el diámetro del cuello de la raíz y el peso seco radicular. Lo que nos hace pensar que la raíz puede estar, en plantas de dos savias, confinadas al contenedor.

4.1.3.5 REGRESIONES DEL ÍNDICE DE SCHMIDT-VOGT

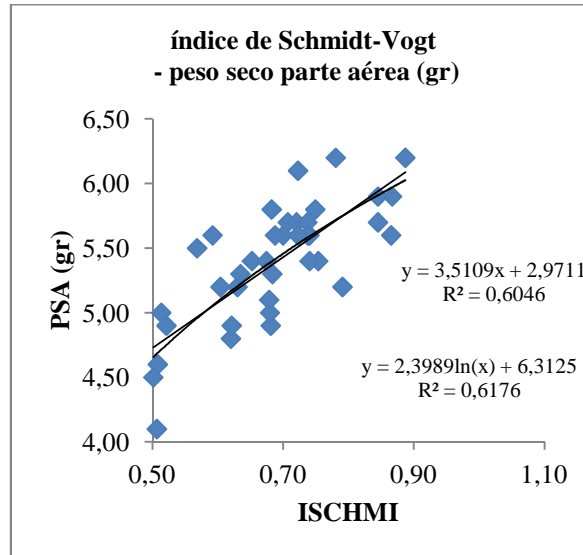


Figura 61: Regresión (PSA) - índice de Schmidt-Vogt

En el caso del índice determinado según lo propuesto por Schmidt-Vogt (1980), se deduce de la fórmula que los valores altos, son indicativos de plantas más robustas y con menor probabilidad de daño en el trasplante. No se han encontrado referencias por especie de este índice, con lo cual no podemos situar la experiencia con estos sustratos en ningún rango, sólo apreciar una concentración de los resultados entorno a la media y su alta relación con variables como el diámetro, con la cual lo hace de una forma muy directa, otorgándole al diámetro un mayor valor predictivo de la calidad general de la planta, y con el índice de esbeltez, con lo que nos induce a pensar que la densidad de cultivo también resulta un factor importante para obtener una buena calidad de planta según este índice.

En la figura 61, se aprecia una alta relación entre el peso seco de la parte aérea y el índice de índice de Schmidt-Vogt ya que se trata de una variable morfológica que forma parte de su fórmula, como en el caso de la figura 62.

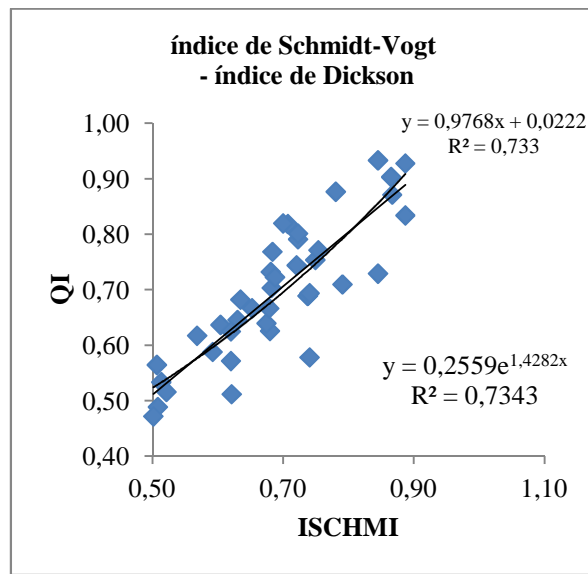


Figura 62: Regresión QI - índice de Schmidt-Vogt

4.1.3.6 REGRESIONES DEL ÍNDICE TALLO-RAÍZ

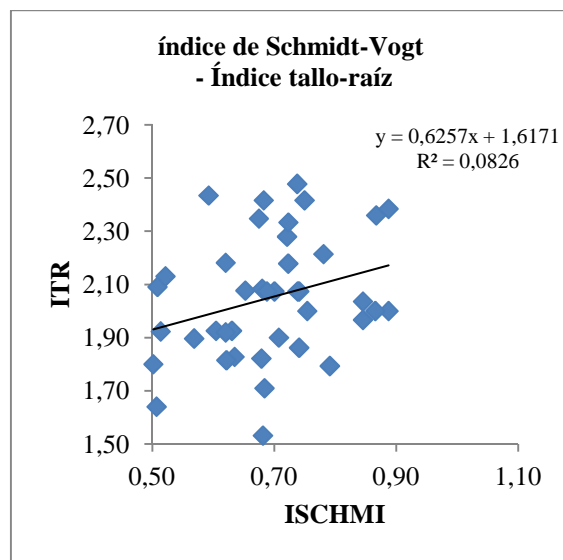


Figura 63: Regresión ITR - índice de Schmidt-Vogt

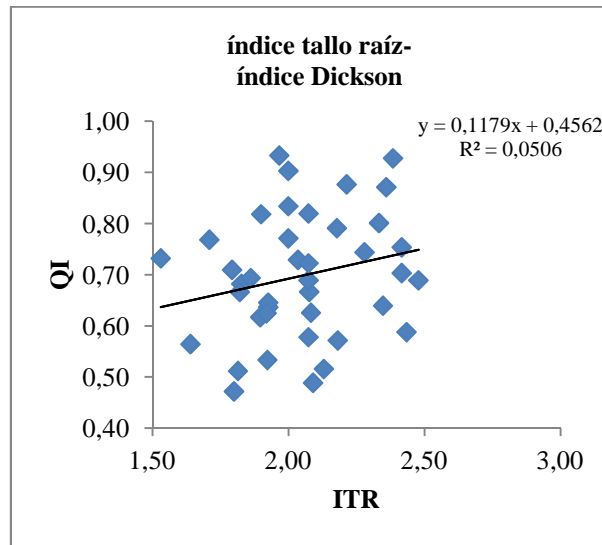


Figura 64: Regresión tallo-raíz e índice de Dickson

El índice tallo-raíz es el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente, y se calcula habitualmente a partir de la relación de los pesos secos de cada una de las partes. Los individuos de *Quercus spp.* tienden a mostrar valores inferiores a 0,8; los de *Pinus spp.* suelen ser mayores a 1 y los de *Arbutus unedo* o *Atriplex spp.* mayores de 2 (Maldonado 2010). Dicha variación sugiere que no existe una relación universal asociada con un óptimo desarrollo, sino que cada especie puede expresar un valor dentro de un rango que le es característico, Gil y Pardos (1997) proponen un valor de la relación menor de 2 para *Pinus halepensis*. En nuestro ensayo se aprecian valores por encima de 2 lo que indica un aumento del peso seco de la parte aérea o una parada del peso seco de la parte radical. Como hemos visto anteriormente que no se cumplía en nuestro ensayo la afirmación de Navarro *et al.* (2006) que decía que existía una correlación positiva entre el diámetro del cuello de la raíz y el peso seco radicular, se puede pensar que lo que se retiene es el crecimiento de la parte radical. También es interesante apuntar que valores bajos de la relación tallo/raíz pueden asociarse con menor crecimiento y mayor mortandad post-plantación (Villar, 2003 a), lo que implica que este índice nos da, como el índice de Esbeltez, un valor excesivo de calidad.

En los resultados de las regresiones, vemos como el índice de tallo-raíz no tiene ningún tipo de relación, salvo con las variables que forman parte de su cálculo, como son el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz.

4.2 Protocolo de calidad

El resultado de la exploración de los cuatro tratamientos mediante el protocolo de calidad propuesto, muestran que los lotes generados mediante los tratamientos 1,3 y 4 serían aceptados, mientras que el tratamiento 2 formado por un sustrato mezcla de 90% de turba y 10% de perlita sería rechazado. Principalmente se aprecia una falta de cohesión del cepellón importante. Cuando las plantas de este lote eran levantadas de su alveolo, el cepellón se deshacía con gran facilidad por su parte inferior.

Las tablas de resultados obtenidos durante la exploración se muestran a continuación:

El resultado de rechazo del segundo tratamiento nos indica que además de tener en cuenta los criterios de calidad morfológicos a la hora de seleccionar un sustrato, tenemos que tener en cuenta la evolución de esos sustratos desde el semillado hasta que la planta es utilizada en el monte. En este caso se aprecia que, aun cuando los criterios morfológicos son idóneos, el tratamiento 2 por falta de cohesión del cepellón al final del cultivo, da rechazo en el protocolo de calidad. Esto nos indica que las características físicas resultantes al final del cultivo a nivel de cepellón tendrán que ser tomadas en cuenta a la hora de la toma de decisión en la selección de componentes de sustratos para planta forestal. Precisamente uno de los beneficios que nos brinda la perlita, evitar el apelmazamiento del sustrato, se puede volver en contra de la cohesión del cepellón si no se utiliza acertadamente.

5. CONCLUSIONES

Los sustratos propuestos a base de turba rubia, perlita y vermiculita no han provocado diferencias significativas en los atributos morfológicos medidos, salvo una mejora significativa que se ha dado en el índice de esbeltez en el tratamiento cuyo sustrato estaba compuesto únicamente por turba rubia.

El tratamiento más económico aplicado, cuyo sustrato estaba compuesto por turba rubia, resulta ser el más efectivo para lograr una mejor calidad de planta en *Pinus halepensis*, en el tamaño de contenedor de 300 cc.

Se puede concluir que la variación de composición de los sustratos producidos a base de turba rubia añadiéndoles perlita y vermiculita, en la producción de planta en envase de *pinus halepensis* Mill., no tiene un efecto positivo sobre la medida del índice de esbeltez de los lotes en las proporciones y con los volúmenes ensayados en nuestro trabajo.

La altura no se ve afectada significativamente por añadirle esta mezcla de componentes ya que se empeora la fertilidad del sustrato sin conseguir una mejora en las características físicas de estos.

En el tratamiento compuesto por una mezcla de turba rubia y perlita, se detecta un fallo de cohesión del cepellón de la planta por la presencia de un 10 % de perlita en el alveolo. Aunque no implica una pérdida en la calidad morfológica de la planta es un factor que puede comprometer el establecimiento correcto de una repoblación forestal, y de hecho provoca un rechazo del protocolo de calidad.

El diámetro medido en el cuello de la raíz en plantones de *Pinus halepensis* es una de las variables que más información, de una forma rápida y sencilla, nos puede proporcionar sobre su espaciamiento y su calidad, ya que correlaciona fuertemente con un gran número de variables morfológicas e índices de calidad.

Por el contrario, la altura de la planta, resulta ser una variable muy independiente del resto de atributos, con lo que por si sola, nos proporcionará poca información.

Paralelamente, el peso seco de la parte aérea, también está muy correlacionado con el diámetro en el cuello de la raíz, y nos proporcionará mucha información sobre la calidad de nuestra planta. Sin embargo el peso seco de la raíz no aporta tanta correlación con los atributos morfológicos e índices de los que no forma parte.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALMANSA, A.; (1990). Producción y consumo de productos forestales en España. in *ECOLOGÍA*, Fuera de Serie nº 1. ICONA. Madrid.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 7 (1 y 2).
- CLEARY, B.D.; GREAVES, R.; (1977). Determining planting stock needs. En: Proc. Tree Planting in the Inland Northwest. Baumgartner D. M., Boyd R., eds. Washington State University Cooperative Extension Service.
- CORTINA, J.; VALDECANTOS, A.; SEVA, J.P.; VILAGROSA, A.; BELLOT, J.; VALLEJO, V.R.; (1997). Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas producidos en vivero. En: Actas II Congreso Forestal Español, pp. 159-164.
- CORTINA, J.; PEÑUELAS, J.; PUÉRTOLAS, J.; SAVÉ, R.; VILAGROSA, A.; (2006). Calidad de la planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de los conocimientos. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- COUSIN, J.Y.; LANIER, L.; (1976). Techniques modernes de production de plants forestiers.-*Revue Forestière Française XXVIII*.
- CHAVASSE, C.G.; (1980). Planting stock quality, a review of factors affecting performance. New Zealand Journal of Forest 25.144-171.
- DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, I.; (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10-13.
- DOMINGUEZ LERENA, S.; (1997). La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134: 34-36.
- DOMINGUEZ LERENA, S.; SERRADA HIERRO, R.; PEÑUELAS RUBIRA, J.L.; (2001) Influencia del tipo de envase durante el cultivo en vivero sobre la morfología radical y el desarrollo en campo de plantas de *Pinus halepensis* Mill.
- DOMINGUEZ, S.; HERRERO, N.; CARRASCO, I.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J.; 1997. Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster* y *P. pinea*: resultados de vivero. En: Actas II Congreso Forestal Español, pp. 189-194.

- DURYEA, M.L.; (1985). Evaluating seedling quality: importance to reforestation. Duryea, M.L., ed Forest Research Laboratory. Oregon State University, pp.1-4.
- GIL, L. A.; (1996). Regiones de procedencia de *Pinus halepensis* Mill. Servicio Material Genético. *Dirección General de Conservación de la Naturaleza*. INIACIFOR. Ed. *Parques Nacionales*. Ministerio de Medio Ambiente.
- GOMEZ MAMPASO, V; OCAÑA BUENO, L.; (1997). Las marras causadas por los defectos en las operaciones de reforestación. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 4: 35-42.
- GROSSNICKLE, S.C.; (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New For.* 43 711-738.
- ICONA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA; (1979). Las Coníferas en el Primer Inventario Forestal Nacional. *Subdirección General de Protección de la Naturaleza*. Madrid.
- IVERSON, RD. (1984). Planting stock selection: Meeting biological needs and operational realities. In Duryea ML, TD Landis eds. Forest nursery manual. Oregon State University. Corvallis, USA. p. 261-266.
- LOPEZ GONZALEZ, G.; (1993). La guía de Incafo de los árboles y arbustos de la Península Ibérica. Ed. *Incafo S.L.* Madrid.
- MALDONADO BENÍTEZ, KR.; (2010). Sustratos alternativos para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo Forestal. Montecillo Texcoco, México DF, México. Colegio de Postgraduados. 115 p.
- M.A.P.A., (1986). Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Ed. *Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Madrid.
- MARCELLI, AR; (1984).- Deformaciones radicales de las plantas cultivadas en contenedor: inconvenientes y remedios. *Istituto Sperimentale per la pioppicoltura NOTE TECNICHE N° 1*.
- MARCELLI, AR; (1989).- Moderne tecnologie per la produzione vivaistica di specie forestali.- *SAF Istituto sperimentale per la pioppicoltura NOTE TECNICHE N°7*.
- MARFÀ, O.; OROZCO, R.; (1995). Non saturated hydraulic conductivity of perlites. Some effects on pepper. *Acta Hort.* 401: 235-242.

- MARIEN, JN; DROVIN, G; (1978).- Etudes sur les conteneurs a paroids rigides.- *Annales des recherches sylvicoles. AFOCEL*.
- MEXAL, J.G.; LANDIS, T.D.; (1990). *Target seedling concepts: height and diameter. En: Target Seedling Symposium: Proc., Combined Meeting Western Forest Nursery Associations. Rose, R., Campbell S. J., Landis T. D., eds. U.S.D.A. Forest Service, GTR RM-200, pp. 17-36.*
- NAVARRO, RM.; VILLAR-SALVADOR, P.; DEL CAMPO, A.; (2006). *Morfología y establecimiento de plantones. In Cortina J, JL Penuelas, J Puertolas, R Save, A Vilagrosa eds. Calidad de planta forestal para la restauracion en ambientes mediterraneos. Estado actual de conocimientos. Madrid, España. Ministerio de Medio Ambiente, Serie Forestal. p. 67-88.*
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M.; ARTERO, F.; (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 69-79.
- OLIVO, V.; BUDUBA, C.G. BOSQUE; (2006). *Influencia de seis sustratos en el crecimiento de Pinus ponderosa producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. Bosque, Vol. 27, Núm. 3, pp. 267-271.*
- PAGES, M.; MATAALLANA, A.; (1984). Caracterización de las propiedades físicas, en los sustratos empleados en horticultura ornamental. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Producción vegetal. Nº 61.
- PEMÁN, J.; NAVARRO-CERRILLO, R.; NICOLÁS, J.; PRADA, M.; SERRADA, R. (eds.), (2012). Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie Forestal. Madrid.
- PEÑUELAS RUBIRA, J.L.; (1993). El cultivo de la planta forestal en España. *Montes* 31: 55-60.
- PEÑUELAS RUBIRA, J.L.; OCAÑA BUENO, L.; (1996). Cultivo de plantas forestales en contenedor, principios y fundamentos. *Ed. Mundi-Prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*
- PORTILLO, E.; (1990). *Las Repoblaciones con especies de crecimiento rápido. Ecología, Fuera de Serie nº 1. ICONA. Madrid.*
- PUÉRTOLAS, J.; (2003). *Efecto del riego y la fertilización nitrogenada sobre la calidad de planta de Pinus halepensis Mill. y su comportamiento en campo. Tesis doctoral inédita. Universidad Politécnica de Madrid.*
- PUÉRTOLAS, J.; GIL, L.; PARDOS, J. A. (2003). *Effects of nutritional status and seedling size on field performance of Pinus halepensis planted on former arable land in the Mediterranean basin. Forestry* 76: 159-168.

- PUTTONEN, P.; (1997). *Looking for the "silver bullet"- can one test do it all? New Forests 13: 9-27.*
- RIEDACKER, A; (1986).- Production et plantation de plants a racines nues ou en conteneurs.- *Revue Forestière Française XXXVIII-3.*
- ROJO, L.; (1990). *Metodología para la elaboración de un Plan Nacional de restauración hidrológico-forestal mediante utilización de sistemas de información geográfica. Tesis Doctoral. ETSIM. Madrid.*
- RUIZ DE LA TORRE, J.; CEBALLOS, L.; (1979). Árboles y arbustos de la España peninsular. *E.T.S.I. Montes. Madrid.*
- SERRADA HIERRO, R.; (1995). Apuntes de Repoblaciones Forestales. *Fundación Conde del Valle Salazar. E.T.S.I. Montes. Madrid.*
- SERRADA, R.; NAVARRO, M; PEMÁN J.; (2005). La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. *Invest Agrar: Sist. Recur. For. (2005) 14(3), 462-481*
- SCMIDT-VOGT, H.; (1980). Characterization of plant material, IUFRO Meeting. S1.05-04. *In Röhrling E, Gussone HA. Waldbau. Zweiter band. Sechste Auflage, Neubearbeitet. Hamburg und Berlin, 1990. 314 p.*
- SOUTH, D. B.; (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series N.º 1. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 12 pp.*
- TINUS, R.; OWSTON, P.; (1984).- Physiology research made reforestation with containergrown seedlings succesful.- *Seedling phisiology and reforestation succes.- London.*
- VILLAR, P.; (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente.
- VILLAR SALVADO, P.; (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: *Resturación de ecosistemas mediterráneos.* (Rey Benayas J.M., Espigares Pinilla T., Nicolau Ibarra J.M. eds.). Universidad de Alcalá / Asociación de EcologíaTerretre, pp. 65-86.
- WILLSON, G.C.S.; (1983). The physic-chemical and physical proprieties of horticultural substrates. *Acta Horticulturae 150: 19-32.*