

Universidad de Pinar del Río
“Hermanos Saíz Montes de Oca”
Facultad Forestal y Agronomía

**Influencia del sustrato en atributos morfofisiológicos de la
especie *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell.**

Documento presentado en opción al Título Académico de Máster en
Ciencias Forestales. Mención Manejo de Bosques

Autora: Ing. Marilyn R. Alonso López

Tutores: Dra. Gretel Geada López

Pinar del Río, 2013.

Dedicatoria

A quienes me aman de manera incondicional.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida, y ser amigo incondicional, a la vez por permitirme vivir esta hermosa experiencia.

Un agradecimiento muy especial a mis tutores: Por su experiencia, por sus sabias contribuciones, comentarios y útiles sugerencias ofrecidas, por el buen carácter, por dedicar tantas horas de su tiempo libre. Sin su acertada guía no hubiera sido posible la culminación de este trabajo.

A mis queridos profesores que con tanto amor, dedicación y profesionalidad supieron transmitirme sus conocimientos.

Al personal de las empresas del Ministerio de la Agricultura, muy en especial a los trabajadores del Instituto de suelo de Pinar del Río.

A todos mis compañeros (as) y amigos (as) que de una u otra manera estuvieron conmigo, dándome fuerzas, ánimos para seguir con este propósito.

A todos muchas gracias.

RESUMEN

Se evaluó la influencia de diferentes sustratos constituidos por cachaza, turba, biocarbón y mezclas volumétricas de cachaza-biocarbón y turba-biocarbón en los atributos morfofisiológicos de la especie *Talipariti elatum*. Para ello se realizó un experimento completamente aleatorio con nueve tratamientos donde se caracterizaron las propiedades físicas y químicas, se determinó la respuesta morfofisiológica de *Talipariti elatum* y se evaluó el aporte nutricional. Se demostró que los sustratos presentan propiedades químicas requeridas para la producción de plántulas en contenedores con excepción del biocarbón. La prueba de comparación de medias de Duncan evidenció el efecto acondicionar del biocarbón en las propiedades físicas, además mediante la prueba de (χ^2) a través del coeficiente de contingencia se comprobó dependencia en las variables facilidad al destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical. La especie mostró una respuesta morfológica más favorable en las mezclas C50 y C80, atribuible a las características físicas y químicas. Además el análisis discriminante permitió la diferenciación de los sustratos a partir de la combinación lineal de las variables donde la altura resultó de mayor contribución. Los atributos fisiológicos indicaron diferentes respuestas hídricas correlacionados con las propiedades físicas de los sustratos, mostrando ajuste osmótico y elástico que posibilitan el mantenimiento de la turgencia celular a bajos potenciales hídricos. Los nomogramas vectoriales reflejan el comportamiento nutricional durante el período de evaluación, indicando que C50 y C80 aportaron cantidades suficientes para el crecimiento de la especie.

ABSTRACT

The influence of different substrates consisting in sugarcane straw, peat, and biochar as well as combinations of sugarcane straw-biochar, peat-biochar in the morphophysiological attributes of the *Talipariti elatum* species. This was completely randomized experiment with nine treatments which characterized the physical and chemical properties, we investigated the morpho-physiological response of *Talipariti elatum* and evaluated the nutritional. Growing media demonstrated that chemical properties required for the production of container seedlings except biochar. The mean comparison test showed the effect of Duncan condition of biochar on physical properties, and by testing (χ^2) through contingency coefficient dependence on variables found to remove from the container ease, stability of the root plug and root architecture. Species showed a more favorable morphological response C50 and C80 mixtures, attributable to physical and chemical characteristics. Also the discriminant analysis allowed differentiation of the substrates from the linear combination of the variables where the height was of major contribution. Physiological attributes showed different responses correlated water physical properties of substrates showing elastic osmotic adjustment and enable the maintenance of cell turgor at low water potentials. Vector nomograms reflect nutritional behavior during the evaluation period, indicating that C50 and C80 provided sufficient quantities for growth of the species.

Índice	Páginas
Introducción.	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	4
1.1 Generalidades sobre viveros forestales.	4
1.1.1 Características de los contenedores para viveros forestales.	4
1.1.2 Producción de posturas en contenedor.	5
1.2 Los sustratos en la producción de plántulas forestales en contenedores.	6
1.2.1 La calidad de los sustratos.	6
1.2.2 Requerimientos de los sustratos para la producción de plántulas en contenedores.	7
1.2.2.1 Retención de la humedad.	8
1.2.2.2 Contenido de aire.	8
1.2.2.3 Nutrientes minerales.	9
1.2.2.4 Soporte físico.	9
1.3 Características físicas de los sustratos.	9
1.4 Propiedades químicas de los sustratos.	11
1.5 Atributos morfológicos.	13
1.5.1 Calidad morfológica.	13

1.6 Atributos fisiológicos.	14
1.6.1 Relaciones hídricas.	14
1.6.2 Métodos para medir el estado hídrico de las plantas.	17
1.6.2.1 El psicrómetro de termopares.	17
1.6.2.2 La cámara de presión.	17
1.6.2.3 La sonda de presión.	18
1.7 Nutrición mineral.	18
1.7.1 Análisis de vectores para diagnóstico nutrimental.	19
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.	21
2.1 Ubicación del experimento.	21
2.2 Procedencia, almacenamiento y características del material de reproducción.	21
2.3 Tratamiento pregerminativo y siembra.	21
2.4 Sustratos empleados.	22
2.5 Determinación de las propiedades de los sustratos.	22
2.5.1 Propiedades químicas.	22
2.5.2 Propiedades físicas.	23
2.6 Evaluación de dinámica de crecimiento.	24
2.7 Medición de variables morfológicas.	24
2.7.1 Índice de esbeltez.	24

2.7.2 Relación parte aérea y parte radical.	24
2.7.3 Relación altura parte aérea y masa seca de la parte aérea.	24
2.7.4 Índice de calidad de Dickson.	25
2.8 Destubetado, estabilidad del cepellón y estructura radical.	25
2.9 Determinación de variables fisiológicas.	26
2.9.1 Parámetros hídricos.	26
2.10 Diagnóstico nutricional.	28
2.11 Procesamiento estadístico.	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	30
3.1 Caracterización química de los sustratos.	30
3.2 Caracterización física de los sustratos.	32
3.2.1 Correlaciones entre variables físicas de los sustratos.	34
3.3 Dinámica del crecimiento en altura y diámetro.	34
3.4 Caracterización de los atributos de calidad de la planta.	35
3.4.1 Análisis de los atributos e índices morfológicos.	35
3.4.2 Correlaciones entre atributos e índices morfológicos de las plantas.	39
3.4.3 Análisis para la diferenciación de los sustratos empleados en la producción de <i>T. elatum</i> .	40

3.5 Resultados de las variables destubetado, estabilidad del sustrato y arquitectura radical de las plantas.	44
3.6 Atributos fisiológicos.	47
3.6.1 Comportamiento de los parámetros hídricos.	47
3.6.2 Análisis nutricional.	53
CONCLUSIONES.	57
RECOMENDACIONES.	58
BIBLIOGRAFÍA.	59
ANEXOS.	

INTRODUCCIÓN

La política forestal de Cuba prevé en su programa de desarrollo económico hasta el 2020 incrementos considerables en la producción y transformación de maderas preciosas tropicales para la exportación, a partir del manejo y aprovechamiento de las plantaciones existentes, por lo que, en perspectiva, la producción de maderas preciosas tropicales descenderá a causa de la acelerada desaparición de los bosques de donde se extraen actualmente, y las restricciones que para su manejo y protección se establecen en el mercado internacional. En este sentido, se proyecta el fomento de 5 000 hectáreas nuevas con la aplicación de una silvicultura eficiente, siendo *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell una especie de gran interés por las características de su madera y su ecología.

En éste ámbito el sector forestal pretende propiciar una infraestructura especializada imprescindible para lograr plantaciones comerciales mediante la introducción de tecnologías de avanzada en la producción de material reproductivo en viveros, sustituyendo no menos del 90 % de la producción de plántulas mediante bolsas de polietileno por nuevas tecnologías, fundamentalmente tubetes plásticos.

Durante los últimos años el desarrollo del uso de materiales con características capaces de sustituir al suelo, en la producción de plantas forestales ha sido muy acelerado, de tal manera que la producción de planta en vivero se hace bajo esquemas de producción donde se utilizaron materiales reciclables y con orientación ecológica (Santiago, 2002).

Para la producción de plantas forestales en Cuba en sistemas tecnificados, se emplean mezclas de turba, chachaza, humus de lombriz, desechos agrícolas y forestales compostados, entre otros. Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad dado que el volumen de un contenedor es limitado, el sustrato y sus componentes deben poseer propiedades físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento deseado (Cabrera, 1999). A corto plazo, el propósito de cualquier lote de planta cultivado en vivero y destinado a repoblación es superar satisfactoriamente la fase de establecimiento. Sobre esta idea se ha desarrollado

el concepto de calidad de planta durante las últimas décadas (Mattsson, 1997), y de ahí la importancia de lograr plantas capaces de recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo postrasplante y establecer el contacto entre sus raíces y el suelo, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Margolis y Brand, 1990). Esto hace que los factores que afectan al estado hídrico de la planta en el momento de la plantación tengan una influencia decisiva en la supervivencia inicial (Burdett, 1990; Heiskanen y Rikala, 2000). Durante el restablecimiento de las funciones fisiológicas de la planta, lo deseable es que ésta exhiba patrones de crecimiento y desarrollo adecuado a las extremas condiciones edafoclimáticas. El mayor o menor éxito en la consecución de estos objetivos es lo que constituye la respuesta en plantación, tradicionalmente cuantificada en términos de supervivencia y crecimiento, lo cual se ve afectada por múltiples factores que, en conjunto, son los que deben condicionar la elección de la calidad de planta y de la técnica repobladora. Según South (2000), estos factores son, en orden de importancia, las condiciones ambientales, el manejo de la planta, su morfología y su fisiología, a lo que habría que añadir los factores genéticos. La influencia de estos en el establecimiento ha recibido considerable atención de cara a una mejor predicción y/o interpretación de la supervivencia (Tesch *et al.*, 1993; Elliot y Vose, 1995; McTague y Tinus, 1996; McKay, 1997; Scheneider *et al.*, 1998; Navarro y Palacios, 2004).

Por estas razones es de marcada importancia el estudio morfológico y fisiológico de especies de interés forestal como variables predictoras al éxito de la plantación, de ahí que se identifica el siguiente **problema** de investigación ¿Cómo influye el sustrato en atributos morfofisiológicos de la especie *Talipariti elatum*?, siendo el **objeto de estudio** los parámetros morfofisiológicos de la especie, pudiéndose plantear la **hipótesis** siguiente: la composición química y física del sustrato influye en la respuesta morfofisiológica de la especie *Talipariti elatum*, reduciendo el tiempo de permanencia en vivero e induciendo ajustes osmótico y elásticos.

Teniendo como **objetivo general**: Evaluar la influencia del sustrato en atributos morfofisiológicos de la especie *Talipariti elatum* y se definen como **objetivos específicos**:

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados en la producción de plántulas de *Talipariti elatum*.
- Determinar la respuesta morfofisiológica de *Talipariti elatum* en diferentes sustratos.
- Evaluar el aporte nutricional de los sustratos a la planta.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 Generalidades sobre viveros forestales.

La importancia del vivero radica en producir plantas en mayor cantidad mediante el uso de diferentes métodos de propagación, para este fin el vivero puede presentar diversos grados de tecnificación, que estarán definidos con base a los recursos con lo que se cuenta. Constituye el primer paso en cualquier programa de repoblación forestal, destinados a la producción de plantas forestales, donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasplantadas al sitio definitivo de plantación (Castillo, 2006). En función del manejo proporcionado, las plantas pueden tener mayor capacidad de crecimiento, vigor, y sanidad y con ello fortalecer los programas de plantación comercial, el fortalecimiento de los programas de reforestación de zonas desforestadas o con diverso grado de perturbación (Cobas, 2001).

1.1.1 Características de los contenedores para viveros forestales.

Las propiedades del contenedor ideal para la producción de plantas forestales han sido cuestión de debate durante muchos años. Aunque los contenedores pueden ser comparados en muchas formas distintas, la más apropiada es en relación a su funcionalidad. La función primaria de cualquier contenedor es la de contener una pequeña cantidad de sustrato, que a su vez abastece a las raíces con agua, aire, nutrientes minerales y además provee soporte físico mientras las plantas están aún en el vivero.

El diseño de los envases proporcionan un buen sistema radical y su protección hasta su trasplante definitivo, existiendo envases de diversas formas y tamaño como el de 90 cm³ con el interior estriado para garantizar que no se produzca enroscamiento de las raíces y presentando una abertura, para permitir la salida al exterior de las raíces, dando lugar al repicado, lo cual exige disponer los envases al aire libre y nunca en contacto con el terreno (Bonilla, 2001).

Sin embargo, los contenedores para especies forestales deben cumplir con otras funciones que reflejan los requerimientos especiales para plantaciones forestales de conservación o comerciales (Landis, *et al.*, 1990).

Por la gran variedad de contenedores que hoy día son usados en los viveros forestales, se pueden producir plantas de calidad aceptable en muchos tipos diferentes. No existe un contenedor que presente todas las características diversas posibles, entonces, ningún tipo en particular es mejor para todos los viveros y sitios de plantación. Al final la elección de un sistema de contenedores depende de los objetivos y características operativas de cultivo de cada vivero (Landis, 2000).

1.1.2 Producción de posturas en contenedor.

La mayor parte de las especies forestales pueden propagarse en recipientes desde la siembra de la semilla; sin embargo, también es posible establecer una cama-semillero a partir de la cual se tomarán las plántulas que se destinarán a un envase específico. El período de permanencia de la planta en el recipiente varía dependiendo de la especie y es común que durante la primera fase se empleen envases pequeños ya sean individuales o múltiples y de consistencia rígida que pueden reutilizarse en muchas ocasiones. Posteriormente para tener plantas más vigorosas, estas pueden transferirse a envases de mayores dimensiones; sin embargo, es preferible utilizar un solo recipiente antes de realizar el trasplante al sitio definitivo.

La forma, altura y volumen del recipiente afectan la velocidad del crecimiento de las plantas forestales, tipo de manejo al que se someterán, además de influir en la capacidad de retención de humedad del sustrato y los costos de producción. Al aumentar las dimensiones de los recipientes, se incrementa el costo de producción debido a la cantidad de sustrato necesario para llenarlos y al espacio requerido para mantener las plantas (Peñuelas, 1999).

La propia experiencia dentro de los viveros que utilizan los sustratos como medio de cultivo, demuestran que el propio manejo del sustrato es una de las claves del éxito de la explotación. Es el correcto uso del sustrato, sobre todo respecto de la

gestión del agua y el oxígeno, la que abre la puerta de una producción adecuada. Un buen sustrato puede comportarse de manera muy deficiente si no se maneja adecuadamente. Esto obliga a que el viverista deba conocer minuciosamente las características de los sustratos si se quiere optimizar su utilización (Pastor, 1999).

1.2 Los sustratos en la producción de plántulas forestales en contenedores.

Carneiro (1995) plantea que el sustrato es el medio en que las raíces se desarrollan para formar el soporte estructural de la parte aérea de las posturas y que suministra las cantidades necesarias de agua, oxígeno y nutrientes. Sus características son el resultado de la interacción de fuerza climática y de organismos vivos que actúan sobre el material de origen, formando un sistema compuesto por una fase sólida, una líquida y una gaseosa.

En un vivero moderno, el sustrato es después del contenedor y la mano de obra, el factor de más peso en el balance económico (Montoya y Camara, 1996). La experiencia práctica ha venido demostrando su importancia, pues tanto menor es el volumen disponible para las raíces, tanto mayor debe ser la calidad el sustrato.

1.2.1 La calidad de los sustratos.

Ansorena (1994), refiere que la calidad del sustrato, entendida como su capacidad para suministrar aire, agua y nutrientes a la planta, es el factor más importante para el cultivo con éxito de plantas en contenedor. Dicha calidad es muy variable de la propia heterogeneidad de los ingredientes base (tipo, granulometría, sistema de extracción) además de la presencia de subproductos residuos y aditivos de variada naturaleza, composición, propiedades y grado de descomposición.

A criterio de Serrada (1995), el sustrato para el llenado de cualquier tipo de envase puede componerse a voluntad, buscando propiedades adecuadas, tales como: baja densidad para facilitar el manejo y transporte, permeabilidad que permita el desarrollo de las raíces en todo su volumen; sanidad relacionada a posibles patógenos para las plántulas; así como fertilidad adecuada para la producción de plantas con buen estado fisiológico.

La selección de los componentes del sustrato dependerá, de su disponibilidad y costo. Las funciones del sustrato (soporte de las plantas, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad) deben ser consideradas para las mezclas. Se necesita materia orgánica o arcilla para proveer cierta capacidad de intercambio catiónico para la retención de nutrientes. Si la materia orgánica o la arcilla seleccionados tienen una alta capacidad de retención de humedad, como lo hace la turba, no son necesarios más componentes. Sin embargo, si la materia orgánica usada es de capacidad insuficiente de retención de humedad, como aserrín podría ser necesario incluir un segundo material orgánico o arcilloso (como la turba o arcilla calcinada) para aumentar la capacidad de retención de agua. La densidad deseada del medio puede ser obtenida evitando las partículas muy gruesas o demasiado arcillosas (Abarca y Aguilar, 2002).

1.2.2 Requerimientos de los sustratos para la producción de plántulas en contenedores.

Pérez y Vargas (1995) plantean que a diferencia de los suelos, los sustratos pueden retener una gran parte de su contenido hídrico a bajas tensiones, por lo que tensiones muy pequeñas serán suficientes para eliminar un gran volumen de agua de los poros que, de este modo, se irán enriqueciendo en aire. Este comportamiento está relacionado con el tamaño de las partículas que componen los mismos, que es generalmente mucho mayor que en los suelos. La granulometría, la composición química–mineralógica de los componentes y la proporción en que se preparan las mezclas son los factores que más influyen en el comportamiento hídrico de los sustratos.

El conocimiento preciso de las propiedades físicas del sustrato, junto con el manejo del agua de riego, proporcionan las herramientas adecuadas para potenciar el control del cultivo mediante las relaciones aire, agua, y para minimizar las repercusiones negativas derivadas de la incidencia inevitable de factores no controlados.

Las plantas cultivadas en contenedores, tienen ciertos requerimientos funcionales que pueden ser previstos por el medio de crecimiento (Mastalerz, 1997) entre los cuales se destacan:

1.2.2.1 Retención de la humedad.

La retención de humedad, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas. La retención es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen (Calderón y Cevallos, 2001).

Las plantas requieren un continuo y gran suministro de agua para el crecimiento y otros procesos fisiológico. El agua líquida es retenida tanto externa como internamente por el medio de crecimiento hasta que es requerida por la planta: externamente, en los poros relativamente pequeños entre partículas, e internamente, en el espacio interior de materiales porosos. Debido al volumen limitado de los contenedores pequeños, el medio de crecimiento debe poseer una elevada capacidad para almacenar agua, para proveer a las plantas entre un riego y el siguiente.

1.2.2.2 Contenido de aire.

Las raíces de las plantas consisten de tejidos vivientes y gastan energía para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes minerales de la solución del medio. La energía para estos procesos fisiológicos es generada por la respiración aeróbica que requiere una cantidad establecida de oxígeno. El subproducto de esta respiración es el dióxido de carbono, que puede ser acumulado hasta niveles tóxicos si no es dispersado en la atmósfera. Por ello, el sustrato debe ser lo suficientemente poroso para facilitar un eficiente intercambio de oxígeno y dióxido de carbono. A causa de que el oxígeno se difunde a través del agua, este intercambio gaseoso debe tener lugar en los grandes poros llenos de aire del medio de crecimiento. Estos grandes poros están directamente relacionados con el tamaño de las partículas, su arreglo, y la compactación del medio de crecimiento.

1.2.2.3 Nutrientes minerales.

Con excepción del carbono, hidrógeno y oxígeno, las plantas deben obtener los nutrientes minerales esenciales de la disolución del medio de crecimiento. Muchos nutrientes minerales, incluyendo la forma amoniacal del nitrógeno (NH_4^+), el potasio (K^+), el magnesio (Mg^{2+}) y el calcio (Ca^{2+}), existen en la disolución del medio de crecimiento como cationes eléctricamente cargados. Estos iones se mantienen en la disolución del medio hasta que las raíces de las plantas los toman y utilizan para el crecimiento y mantenimiento de los tejidos (Abarca y Aguilar, 2002).

1.2.2.4 Soporte físico.

Este último requerimiento del medio de crecimiento es anclar la planta en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato. El peso es importante en el caso de los contenedores grandes e individuales (Maronek *et al.*, 1986), pero es intrascendente para los de volumen pequeño, en contenedores agregados, que son típicamente usados en organopónicos.

La rigidez de un medio de crecimiento está en función de la compresionabilidad y de la compactación de las partículas del medio de crecimiento, así como del tamaño del contenedor.

1.3 Características físicas de los sustratos.

A nivel mundial el estudio de las propiedades físicas de los sustratos especialmente las relacionadas con la disponibilidad de agua-aire para las raíces comenzó desde las ciencias del suelo y fue adaptándose a las características propias de la amplia gama de productos que pueden ser utilizados, surgiendo así variables y métodos de medida específicos para la caracterización física de los sustratos (Vence, 2008).

Para la evaluación de un sustrato es imprescindible la valoración de sus propiedades físicas tales como, granulometría, color, retención de agua y aireación. Generalmente suele darse más importancia a las propiedades físicas de los sustratos, ya que una vez seleccionada una mezcla como medio de cultivo, apenas puede modificarse su estructura física, a diferencia de su composición química, que puede ser alterada durante el desarrollo de la planta, mediante el riego y el abonado. Para cumplir correctamente sus funciones regulación del suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación. De ahí la importancia de la granulometría en las propiedades físicas de los sustratos (Alarcón (2004).

La granulación (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) ha de ser tal que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores aquellos sustratos que permitan la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60% de agua en relación con el volumen total (Calderón y Cevallos, 2001).

Las recomendaciones en relación a la cantidad total y tipo de espacios porosos en los medios de crecimiento para contenedores, varían considerablemente. Handreck y Black (1984), reportan que un sustrato bien formulado contiene alrededor de 60-80 % de porosidad total (Wincler, *et al* 2000), establecieron que la porosidad total de un sustrato debe exceder el 50 %.

La porosidad, volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no deberá ser inferior al 80-85%, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones (Cairo y Fundora, 2002).

Todas las plantas necesitan oxígeno para respirar, siendo la porosidad de aireación la medida de la parte del total de espacios porosos que están ocupados con aire luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita su libre drenaje (Bragg y Chambers, 1988). El tipo de material utilizado, el tamaño y continuidad de sus poros, la temperatura, profundidad, humedad y actividad

microbiológica de los sustratos, son aspectos que deben considerarse para tener la dinámica de los gases dentro de un medio de cultivo.

El agua cumple un papel fundamental en la dinámica del continuo sustrato-planta-atmósfera, debido a su participación en la mayoría de los procesos metabólicos de la planta. Junto con esto, el agua favorece la penetración de las raíces, a través de la lubricación del sustrato, y permite la absorción de los nutrientes. La porosidad de retención de humedad es la medida de la parte del total del espacio poroso que se mantiene llena de agua, luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita el libre drenaje de esta (Ansorena, 1994).

Otra propiedad es la densidad de un sustrato y que se puede referir bien a la del material sólido que lo compone y entonces se habla de densidad real, o bien a la densidad calculada considerando el espacio total por los componentes sólidos más el espacio poroso, y se denomina densidad aparente.

El valor de la densidad real varía según la materia de que se trate, a diferencia de la densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo y no depende del grado de compactación ni del tamaño de las partículas. Los valores de densidad aparente se prefieren bajos y que garanticen una cierta consistencia de la estructura (Ansorena, 1994).

La influencia de la compactación en la porosidad y en la densidad aparente se comprende fácilmente al considerar el efecto de comprimir un material poroso.

Cuanto mayor sea la presión ejercida, menor será el volumen de poros, y por tanto la porosidad. Al disminuir el volumen total, manteniéndose la masa del material, aumentará la densidad aparente.

1.4 Propiedades químicas de los sustratos.

Varios materiales y sus mezclas son utilizados para preparar medios de cultivo. Las características resultantes de las mezclas no siempre son la suma de las características de sus partes, por lo que lo importante de un sustrato no son sus ingredientes y componentes sino sus propiedades y parámetros.

La materia orgánica es un componente activo del sustrato, su incorporación mejora la estructura del espacio poroso, disminuye la densidad e incrementa la humedad, lo que trae consigo una mejor permeabilidad del suelo y/o sustrato, además libera dióxido de carbono y ciertos ácidos orgánicos durante la descomposición, lo que ayuda a disminuir el pH del suelo, a liberar el calcio por la solubilización de los carbonatos y otros minerales del suelo (Fuentes y Oropeza, 1996).

Es importante que la descomposición de la materia orgánica, en el medio utilizado en los tubetes sea mínima. La descomposición de los agregados orgánicos puede llevar a una textura más fina y una aireación pobre. Dentro del recipiente, el volumen del medio disponible es pequeño para el crecimiento de las raíces, cualquier reducción significativa es perjudicial durante el desarrollo de las plantas. En un medio para cultivo en tubetes no son deseables materiales que se descomponen rápidamente (Burés, 2002).

Es importante el contenido de nitrógeno en relación con el contenido de carbono (C) en el medio de enraizamiento. La materia orgánica se descompone principalmente por la acción de los microbios. El carbono es el mayor componente de la materia orgánica (50 % o más), el cual es utilizado por los microbios.

Las propiedades químicas de un sustrato dependerán en gran parte de la disponibilidad de nutrientes. El sustrato ideal debe tener nutrientes en forma asimilable para la planta. El análisis de las propiedades químicas de un medio es importante debido su interacción con los fertilizantes y su efecto en el desarrollo de las plantas, siendo el pH y la conductividad eléctrica determinantes en la selección de los sustratos. El pH de la solución del sustrato depende de la especie a cultivar, de su formulación y ajuste al valor adecuado, por lo que se hace necesario determinar la disponibilidad de nutrientes para la planta antes de la siembra (Landis *et al.*, 2000).

En los contenedores las plántulas son muy sensibles a alteraciones de pH y conductividad eléctrica, debido a su succulencia y lento desarrollo inicial; por esto, ambos factores deben ser constantemente revisados. Abad *et al.* (1999), citados por Guzmán (2003) indicaron un intervalo de pH óptimo entre 5,3 y 6,5 para la

producción de plantas en contenedor, mientras que Warnche y Krauskopf (1983), consideran como nocivos valores de conductividad eléctrica superiores a 3,5 mS/cm.

1.5 Atributos morfológicos.

1.5.1 Calidad morfológica.

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 sombreado, el régimen de fertilización y riego, las podas aéreas, entre otras (Mexal y Landis, 1990). Se han empleado multitud de atributos morfológicos cuantitativos para caracterizar la calidad de una planta (Ritchie, 1984; Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990; Villar-Salvador, 2003). 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. Estos índices aminoran 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 (Thompson, 1985). El índice de Dickson, que integra la esbeltez y PA/PR, y la morfología del sistema radical, medida a través del peso seco, volumen, longitud, arquitectura o fibrosidad, también se han utilizado como atributos de calidad morfológica de plantas forestales cultivadas en vivero (Thompson, 1985; Romero *et al.*, 1986; Brissette *et al.*, 1991; Dey y Parker, 1997; Navarro y Calvo, 2002; del Campo, 2002; Villar-Salvador, 2003).

1.6 Atributos fisiológicos.

1.6.1 Relaciones hídricas.

El estado del agua en la planta durante el arraigo es tanto más importante cuanto más dependa la especie de la fotosíntesis y menos de las reservas acumuladas para reiniciar el crecimiento radical, al ser la actividad fotosintética dependiente en gran parte del potencial hídrico en la planta (Burdett, 1990). A su vez, los componentes del potencial hídrico (potencial osmótico y potencial de presión) son las involucradas realmente en la respuesta específica al estrés, ya que el primero es solo un indicador del estado de la energía del agua en la planta, mientras que sus componentes están más estrechamente relacionados con los procesos fisiológicos reales: la medición conjunta de la variación del contenido hídrico relativo, y del potencial hídrico, el cual permite conocer la respuesta de la planta e grados crecientes de estrés, ya que la velocidad de alteración del potencial hídrico con cambios en el contenido hídrico relativo depende del potencial osmótico del jugo celular y de la elasticidad de su pared (potencial de presión), aspectos ambos que varían con la edad del tejido, la época estacional del año y, lo que es más importante, con la historia de la planta en lo referente a sucesivas exposiciones a ocurrencias de estrés hídrico (Joly, 1985). El potencial y sus componentes pueden variar en minutos, pero la capacidad de regularlos es una condición intrínseca derivada de su capacidad de tolerar la sequía, menos cambiante en el tiempo.

En este sentido los trabajos de diferentes autores se han centrado en el conocimiento de las prácticas culturales de vivero que pudieran mejorar la tolerancia, y en comprobar la longitud del intervalo temporal durante el cual se mantenía esta capacidad. Para Burdett (1990), la inducción mediante riego de endurecimiento, de un cierto estrés mejora la capacidad de ajuste osmótico a la pérdida de agua, manteniendo el potencial de presión y aumentando por tanto la capacidad de supervivencia a sequía.

Otra propiedad relacionada con la capacidad de tolerar la sequía es la elasticidad de la pared celular, ya que, para un nivel de pérdida de agua dado, la turgencia se perderá tanto después cuanto mayor sea aquella (Milburn, 1979).

Por otra parte, la planta desarrolla otros mecanismos de resistencia a la sequía en términos de evitación. La regulación de las pérdidas por transpiración es un atributo que influye de forma determinante en la capacidad de sobrevivir durante el arraigo, y después del número de estomas, de su tamaño, del grado de apertura y del contenido cuticular de la hoja. Aunque la apertura estomática depende de las circunstancias actuales, ciertos factores intrínsecos gobiernan también las pérdidas globales por transpiración cuando los estomas se cierran (transpiración cuticular), y dichos factores están a su vez dominados por las circunstancias ocurridas durante la formación de la hoja (Burdett, 1990).

La determinación de la calidad de las plantas históricamente viene determinada por su capacidad de sobrevivir bajo condiciones de estrés y predecir un crecimiento vigoroso después de su plantación. Este concepto complejo incluye una capacidad fisiológica y características morfológicas capaces de permitir el crecimiento, aún en condiciones limitantes (Johnson y Climer, 1991 citado por Castillo, 2001).

La calidad de la planta influye de manera determinante en el éxito de los programas de reforestación. A través del tiempo las técnicas de producción de planta han variado, buscándose siempre que los atributos morfológicos y fisiológicos de la planta estén acordes a las características edáficas y climáticas del sitio de plantación (Scagel *et al.*, 1993).

En el vivero se produce la manipulación del estado hídrico de la planta para lograr un equilibrio entre la absorción y la pérdida de agua. Con ello se intenta minimizar el estrés, optimizar la producción y permitir que la planta continúe su ciclo anual de crecimiento, ininterrumpido hasta el momento. (Burdett, 1983).

Los mecanismos de evitación están destinados a retrasar la deshidratación de la planta, para evitar llegar a un déficit hídrico. La estrategia es incrementar al máximo la captación de agua y reducir al mínimo sus pérdidas, a través entre otros, del aumento en profundidad y densidad de las raíces, reducción del área foliar y de la radiación absorbida (Levitt, 1980; Bradford y Hsiao, 1982). Los mecanismos de tolerancia permiten que la planta siga siendo funcional aunque haya pérdida de agua y se produzca un déficit hídrico. Según Turner (1986), la

resistencia al déficit hídrico está asociada a potenciales hídricos bajos y separa los mecanismos en dos tipos: los destinados al mantenimiento de la turgencia celular (ajuste osmótico y ajuste elástico) y los que permiten la tolerancia a la deshidratación (tolerancia protoplasmática).

Las plantas que toleran condiciones de déficit hídrico tienen respuestas morfo-fisiológicas que les permiten sobrevivir bajo estas condiciones. La capacidad de una planta para mantener su estado hídrico, a medida que disminuye la disponibilidad de agua, se refleja en el potencial hídrico, en el contenido hídrico relativo en el potencial de solutos de los tejidos, en el ajuste osmótico y en el ajuste elástico a través del módulo de elasticidad.

Los cambios en el balance hídrico celular constituyen una de las causas principales de las alteraciones en la fotosíntesis y en el crecimiento (Kramer, 1974). La disminución de la fotosíntesis se atribuye principalmente al cierre estomático, aunque puede ser que el efecto perjudicial de la deshidratación en el metabolismo celular se deba a otros factores no estomáticos (Kramer, 1974; Kozlowski *et al.*, 1991; Kramer y Boyer, 1995; Lawlor y Cornic, 2002).

En diversas especies uno de los factores más importantes en condiciones de déficit hídrico es la reducción en: fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración (Herralde, 2000; Peña-Rojas *et al.* 2004; Gindaba *et al.*, 2005).

Es bien conocido que las plantas sometidas a estrés hídrico reducen la tasa de transpiración, modifican las relaciones hídricas de las células y el reparto de biomasa entre parte aérea y raíz, y que esos cambios permanecen incluso cuando el sustrato recupera niveles altos de humedad (Khan, *et al.*, 1996) lo que les permite reducir las pérdidas de agua y mantener un buen estado hídrico interno cuando se limita la disponibilidad de agua (Guehl, *et al.*, 1993).

1.6.2 Métodos para medir el estado hídrico de las plantas.

El estado hídrico en las plantas se puede describir cuantitativamente mediante el potencial hídrico. Este factor controla y explica el movimiento del agua en el continuo suelo-planta-atmósfera, así como entre células, tejidos y órganos. Los tres instrumentos más importantes que se utilizan para la medida del potencial hídrico y sus componentes son el psicrómetro de termopares, la sonda de presión y la cámara de presión (Ascon y Talon, 2001).

1.6.2.1 El psicrómetro de termopares.

El psicrómetro de termopares se basa en el principio de que la presión de vapor relativa de una disolución, o muestra de material vegetal, se haya relacionada con su potencial hídrico. La muestra de material vegetal se coloca en una cámara herméticamente cerrada; al cabo de un tiempo de equilibrio generará una presión de vapor relativa, o humedad relativa en la cámara, equivalente al potencial hídrico del tejido.

Una de las razones de que se utilice la psicrometría de termopares para la determinación del potencial hídrico y sus componentes es que esta técnica se puede usar en cualquier parte del sistema suelo-planta. Además, sólo se necesita una pequeña porción de tejido; esto permite muestrear una hoja o raíz a medida que se somete la planta a diferentes condiciones. Los psicrómetro de termopares se han utilizado en hojas, tallos, raíces, nódulos de leguminosas, partes florales, polen y semillas en desarrollo.

1.6.2.2 La cámara de presión.

En 1965, Scholander *et al.*, desarrollaron una técnica para medir el potencial hídrico en unidades de presión. El método consiste en aplicar presión sobre una hoja cortada hasta que aparece el agua en el extremo seccionado del tallo o del pecíolo. Se interpreta que la presión positiva aplicada a la hoja corresponde a la presión negativa o tensión con la cual el agua estaba retenida en el interior del tallo antes de cortarse. Una ventaja de la cámara de presión es que mide rápidamente el potencial hídrico, y también se puede utilizar para medir la relación

presión-volumen del tejido vegetal. Si se aplica presión adicional por encima de la presión de equilibrio inicial y se determina el contenido hídrico relativo, de manera progresiva se puede establecer una curva presión-volumen. Estas curvas permiten la determinación de un amplio espectro de parámetros hídricos en los tejidos: contenido hídrico total, relación peso turgente/peso seco, contenido hídrico relativo, contenidos hídricos apoplástico y simplástico, contenido hídrico simplástico relativo, presión osmótica a plena turgencia, presión osmótica a turgencia cero, contenido hídrico relativo a turgencia cero, módulo de elasticidad promedio, isothermas de potencial hídrico, diagrama de Höfler (Ascon-Bieto y Talon, 2001).

1.6.2.3 La sonda de presión.

Los métodos convencionales, tales como la cámara de presión y los psicrómetros, determinan el potencial hídrico promedio del tejido completo, independientemente de que existan diferentes tipos de células. Además, dichos métodos requieren equilibrio de flujo hídrico en el interior del tejido y suponen que las membranas celulares son idealmente semipermeables a los solutos. En muchos casos, estas suposiciones no han sido comprobadas, y esto puede provocar errores, tanto en la medida como en la interpretación de los resultados. Además la cámara de presión y los psicrómetros no son adecuados para medir la cinética del movimiento de agua ni para evaluar las cantidades de agua transportada en las diferentes vías de un tejido complejo. En contraste con estos métodos la técnica de sonda de presión permite determinar los parámetros de relaciones hídricas a nivel celular.

1.7 Nutrición mineral.

Los nutrientes minerales son elementos incorporados principalmente en forma de iones inorgánicos. Aunque los nutrientes minerales siguen un ciclo a través de todos los organismos, entran en la biosfera a través del sistema radical de la planta. La gran área superficial de las raíces y su capacidad para absorber nutrientes minerales a bajas concentraciones en el suelo hacen de la absorción mineral un proceso muy eficaz. Tras la absorción por las raíces, los nutrientes

minerales son distribuidos a diferentes partes de la planta para su utilización en importantes funciones biológicas. Otros organismos, como hongos micorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno, participan con frecuencia en los sistemas radicales en la adquisición de nutrientes (Taiz y Zeiger, 2006).

El estado nutritivo afecta de manera determinante a la resistencia al estrés y a las enfermedades, estando presente en todos los procesos fisiológicos, así como muchos que determinan la morfología final (Rook, 1991).

El material plantable requiere de un contenido equilibrado y en cantidad suficiente de nutrientes para garantizar el traslado al monte de una planta con las reservas minerales suficientes para garantizar el desarrollo de sus funciones de arraigo y crecimiento postrasplante (Landis, 1985).

En cuanto al estado nutricional, un vivero forestal debiera producir plántulas con niveles óptimos de nutrientes, ya que plántulas saludables tendrán mejor desempeño en la plantación que plántulas cloróticas y achaparradas (Landis, 1985), y estarán en mejores condiciones para soportar el estrés de plantación. Además, el primer resultado de la deficiencia de nutrientes es la reducción en el crecimiento de la planta, disminuyendo la productividad aún sin presentarse síntomas visibles (Philips, 1994); si esta condición persiste, pueden aparecer síntomas visibles de deficiencia y reducirse aún más el crecimiento.

1.7.1 Análisis de vectores para diagnóstico nutrimental.

La interpretación de los resultados del análisis de tejido vegetal en especies forestales, ya sea con fines de diagnóstico nutrimental o investigación científica, suele ser una tarea complicada (Timmer, 1991; López *et al.*, 2009). Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para tal fin.

En el ámbito forestal, una de las técnicas de interpretación de análisis vegetal que ha tenido un creciente auge y aceptación durante los últimos años, especialmente en el medio científico, es la denominada “análisis de vectores”, desarrollada por Timmer y Stone (1978).

La derivación para interpretar los vectores se basa en la teoría relacionada con los efectos de dilución y concentración nutrimental que ocurren en cualquier sistema vegetal, como consecuencia de la producción de materia seca (Timmer, 1991; Mengel y Kirkby, 2000). De acuerdo con esta teoría, la concentración de nutrimentos en los tejidos vegetales está en función tanto de su disponibilidad en el suelo, como de las tasas de crecimiento del vegetal. Cuando las tasas de crecimiento son bajas, los nutrimentos se encuentran en los tejidos en concentraciones que pueden ser superiores al nivel crítico, aun cuando el nutrimento se encuentre disponible en bajas concentraciones en el suelo. Por el contrario, cuando las tasas de crecimiento son altas, los nutrimentos, especialmente aquellos cuya disponibilidad en el suelo es baja, se diluyen dentro de los tejidos (López y Estañol, 2007).

Otra teoría utilizada para interpretar los vectores de Timmer es la ley del mínimo de Liebig (Larcher, 1995), la cual postula que el vegetal crece a una tasa tan alta como lo permita el factor del crecimiento que se encuentre menos disponible. Este factor puede ser un nutrimento, la temperatura ambiente o del suelo, la humedad ambiental o del suelo, entre otros. Múltiples investigaciones señalan que el factor limitante es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Sumner, 1977a; 1977b; Moreno *et al.*, 2002).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Ubicación del experimento.

La investigación se realizó mediante un ensayo experimental el cual se desarrolló en una casa de cultivo, ubicada en las áreas del laboratorio de suelos perteneciente al Ministerio de la Agricultura, municipio Pinar del Río (Figura 1).

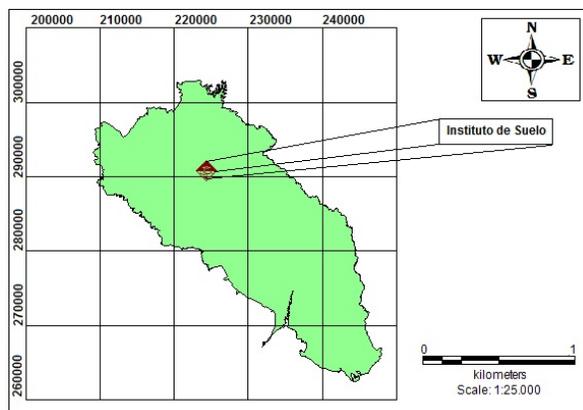


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.2 Procedencia, almacenamiento y características del material de reproducción.

Las semillas utilizadas en la investigación se obtuvieron de la Estación Experimental Forestal de Viñales, las cuales fueron recolectadas en el mes de enero de 2011 y posteriormente almacenadas hasta el momento de la siembra en el frigorífico de Consolación del Sur, establecimiento No. 102, perteneciente a la Empresa Nacional de Frigorífico subscripta al Ministerio de Comercio Interior, Pinar del Río. Las características se muestran en el certificado de calidad (anexo I).

2.3 Tratamiento pregerminativo y siembra.

Se realizó tratamiento pregerminativo a las semillas según lo indicado por Cobas (2001), que consistió en la escarificación mecánica con papel de lija de grano medio durante 10 minutos. La siembra se realizó el 28 de septiembre del 2012, se colocaron tres semillas por envase, para luego dejar la planta más vigorosa. El

riego fue manual, inicialmente dos veces al día hasta los 50 días, posteriormente se disminuyó la frecuencia de riego a uno diario y finalmente cada dos días.

2.4 Sustratos empleados.

Para la realización de esta investigación se utilizaron diferentes sustratos: cachaza, turba y biocarbón, además se emplearon mezclas volumétricas de cachaza-biocarbón y turba-biocarbón (4:1; 1:1; 1:4) en la producción de plántulas de *Talipariti elatum*, empleando tubetes plásticos de 90 cm³ de capacidad, con un total de nueve tratamientos y 50 réplicas bajo un diseño completamente aleatorio. La composición de los sustratos se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los sustratos empleados en el experimento.

Sustrato	Abreviatura	Tratamiento	Composición (%)
Biocarbón	BC	BC	100
Turba	T	T	100
Cachaza	C	C	100
Turba + biocarbón	T + BC	T20	20 + 80
Turba + biocarbón	T + BC	T50	50 + 50
Turba + biocarbón	T + BC	T80	80 + 20
Cachaza + biocarbón	C + BC	C20	20 + 80
Cachaza + biocarbón	C + BC	C50	50 + 50
Cachaza + biocarbón	C + BC	C80	80 + 20

2.5 Determinación de las propiedades de los sustratos.

2.5.1 Propiedades químicas.

Los análisis químicos de los sustratos se realizaron en el laboratorio provincial de suelos del Ministerio de la Agricultura en Pinar del Río, a partir de las normas cubanas (NC) para este tipo de análisis (NC-XX 2009), donde se determinó el porcentaje de materia orgánica, contenido de potasio, calcio, sodio, nitrógeno total, pH y conductividad eléctrica.

2.5.2 Propiedades físicas.

Se determinaron las propiedades físicas a partir de las metodologías descritas por Ansorena (1994) (densidad aparente, densidad real, porosidad total y retención de humedad). Además del diámetro medio de las partículas (D_{mp}) (Anexo 2), mediante análisis granulométrico, con el método de tamizado para la serie de tamices ASTM $\sqrt{2}$ (ASTM E-29, 1972).

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro, calculándose mediante la expresión:

$$da = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Donde: M representa la masa del sustrato (g); V el volumen del cilindro (cm^3).

La densidad real se calculó a partir del contenido de cenizas (C), referido a materia seca de la muestra, considerando el sustrato como una mezcla de dos componentes, uno orgánico (su materia orgánica) y otro mineral (cenizas), cuyas densidades reales son $2,65 \text{ g mL}^{-1}$ y $1,50 \text{ g mL}^{-1}$ respectivamente por la expresión:

$$d_r = \frac{100}{\frac{100-c}{1,50} + \frac{c}{2,65}} = \frac{397,5}{265 - 1,15 C} \quad (2)$$

La porosidad total se calculó a partir de la medida de la densidad aparente y la real a partir de la ecuación (3).

$$Pt = \left(1 - \frac{da}{dr} * 100 \right) \quad (3)$$

2.6 Evaluación de dinámica de crecimiento.

Se evaluó la dinámica de crecimiento para las variables altura y diámetro cada siete días a partir de los 42 días posteriores a la siembra.

2.7 Medición de variables morfológicas.

Las variables morfológicas utilizadas en el análisis fueron altura, diámetro del cuello de la raíz, peso seco aéreo, peso seco de la raíz principal y peso seco de las raíces finas, sugeridas por Mexal y Landis (1990) y Contardi (1999) como esenciales para el monitoreo de la calidad de las plántulas, medidas a los 84 días posteriores a la siembra.

La altura se midió desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la yema apical, utilizándose una regla graduada de 0,1 mm de precisión. Para la medición del diámetro del cuello de la raíz se utilizó un pie de rey, con una precisión de 0,002mm. El peso seco aéreo y de las raíces se determinó una vez colocadas las muestras en la estufa a 60°C hasta obtener masa constante, utilizando balanza analítica Sartorius AG GOTTINGEN SP61S con 0,0001 g de precisión.

2.7.1 Índice de esbeltez (H:D).

El índice de esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura en cm entre el diámetro del tallo en mm.

2.7.2 Relación parte aérea y parte radical.

La relación parte aérea/raíz se estimó como el cociente entre el peso seco de la parte aérea en gramos y el peso seco de la raíz en gramos.

2.7.3 Relación altura parte aérea y masa seca de la parte aérea.

Índice obtenido por la división de la altura de la parte aérea por la materia seca de la parte aérea.

2.7.4 Índice de calidad de Dickson (ICD).

El ICD se determinó a partir de la ecuación (4).

$$ICD = \left[\frac{P_{st}}{h} \frac{1}{d_{cr}} + \frac{P_{sa}}{P_{sr}} \right] \quad (4)$$

Siendo:

P_{st}: peso seco total (g)

h: altura (cm)

d_{cr}: diámetro del cuello de la raíz (mm)

P_{sa}: peso seco aérea (g)

P_{sr}: peso seco radical (g)

2.8 Destubetado, estabilidad del cepellón y estructura radical.

Para los parámetros destubetado, estabilidad estructural del cepellón y arquitectura radical, se establecieron niveles que muestran el grado de complejidad, según criterios de Castillo (2006), como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles establecidos para las variables estabilidad del sustrato y estructura radical.

Variable	Nivel		
	I	II	III
Destubetado	Fácil	Medio	Difícil
Estabilidad del cepellón	Alta	Intermedia	Baja
Arquitectura radical	Buena	Aceptable	Mala

2.9 Determinación de variables fisiológicas.

2.9.1 Parámetros hídricos.

Para evaluar los parámetros relacionados con el funcionamiento hídrico de la especie se construyeron curvas presión–volumen. Se realizaron siete curvas por tratamiento (sustrato), lo cual equivale a 53 curvas (7 individuos x 9 tratamientos). Las curvas se elaboraron siguiendo la técnica desarrollada por Tyree y Hammel (1972) y Turner (1988). A partir de las cuales, se determinaron los componentes del potencial hídrico (Ψ_w), según metodología descrita por Azcon-Bieto y Talón (2001): Contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia (CHR^0), potencial osmótico a cero turgencia (Ψ_s^0), potencial osmótico a plena turgencia (Ψ_s^{100}) y módulo de elasticidad de la pared celular (ϵ). La figura 1 muestra los parámetros hídricos a partir de la construcción de las curvas presión–volumen.

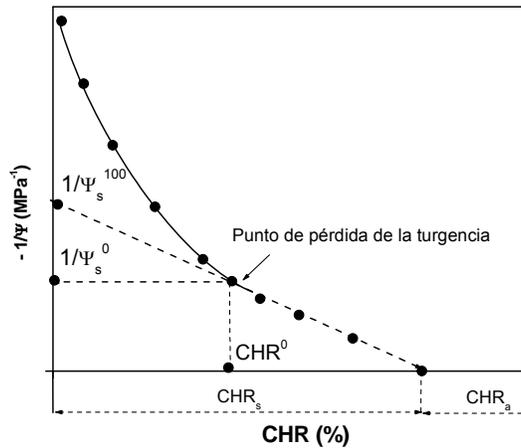


Figura 2. Curva presión–volumen utilizada para determinar los componentes del potencial hídrico en plantas. Fuente: Adaptado de Azcon-Bieto y Talon (2000). Ver anexo 1.

Para la construcción de las curvas las plantas fueron sometidas a un período de rehidratación con agua destilada y en la oscuridad. Se realizaron medidas sucesivas de Ψ_w con la cámara de presión (Model 1000, PMS Instruments, Corvallis, USA), antecedida por la pesada de las muestras. Se efectuaron medidas de Ψ_w , hasta obtener un número suficiente de puntos en la zona recta de la curva;

finalmente el peso seco se determinó en estufa a 80 °C hasta peso constante. Para las pesadas se utilizó balanza analítica Sartorius AG GOTTINGEN SP61S con 0,0001 g de precisión.

El contenido hídrico relativo se calculó por la expresión:

$$CHR = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} * 100 \quad (4)$$

Donde: P_f , representa el pesos fresco,

P_s , peso seco

P_t , peso turgente

El peso turgente se estimó a partir de la linealidad existente entre Ψ_w y el peso fresco, tomando los datos correspondientes a las primeras mediciones que ofrecieron un mayor grado de correlación, según criterios de Kubiske y Abrams (1991).

Gráficamente se determinó el punto de pérdida de turgencia para el cual el $\Psi_w = \Psi_s(\Psi_p = 0)$, que corresponde al punto en que la curva se hace lineal.

El potencial osmótico a plena turgencia (Ψ_s^{100}), mediante la extrapolación de la zona lineal de la curva presión–volumen, a partir del punto de pérdida de turgencia hasta el valor de $1/\Psi_w$ correspondiente al 100% del contenido de agua del tejido (CHR).

El potencial osmótico a turgencia cero (Ψ_s^0), correspondiente al valor del potencial en el punto de inicio de la plasmólisis.

Además se determinó el módulo de elasticidad de la pared celular (ϵ), expresado en unidades de MPa, mediante la ecuación propuesta por Robichaux (1984), aplicada a los cinco o seis primeros puntos de la curva P-V hasta llegar a la marchitez, dada por:

$$\varepsilon = \frac{dP}{dCHR} (CHR_m - CHR_a) \quad (5)$$

Siendo : $\frac{dP}{dCHR}$, la relación entre la variación del potencial de presión y el contenido hídrico relativo entre el punto de máxima turgencia y a turgencia cero.

CHR_m , contenido hídrico medio,

CHR_a , contenido hídrico apoplástico.

2.10 Diagnóstico nutricional.

Para el diagnóstico nutricional se tomó un número fijo de hojas (100 hojas) cada 15 días, seleccionando aquellas que estuvieran sanas y completas (que no tuvieran mordeduras de insecto o algún daño mecánico). Se secaron a 70 °C por 48 h en estufa, luego se pesaron en una balanza de precisión para obtener el peso seco. Las mismas se llevaron al laboratorio provincial de suelos del Ministerio de la Agricultura en Pinar del Río, para determinar los elementos de interés (N, P, K) a partir de la norma ramal (NRAG 144-2010).

Los resultados del análisis químico foliar permitieron determinar la concentración de los nutrientes de interés, mediante la cual se derivó el contenido nutricional a partir del peso seco (concentración x peso seco).

La derivación para interpretar los vectores se basó en la teoría relacionada con los efectos de dilución y concentración nutrimental que ocurren en cualquier sistema vegetal, como consecuencia de la producción de materia seca (Timmer, 1991; Mengel y Kirkby, 2000).

Con las variables peso seco, concentración y contenido se construyó la gráfica de Timmer (nomograma vectorial), el cual fue interpretado a partir de lo descrito por López y Alvarado (2010).

2.11 Procesamiento estadístico.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS ver. 15.0 para Windows.

Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple y una prueba de comparación de medidas de Duncan para un 95 % de probabilidad con los datos de composición química y física de los sustratos.

Para la diferenciación de los sustratos y selección de la variable de mayor incidencia se empleó una técnica multivariante (análisis discriminante).

Se realizó una matriz de correlación de Pearson para variables relacionadas con los parámetros hídricos de la especie y las propiedades físicas de los sustratos.

Se realizó una prueba chi-cuadrado (χ^2) a los parámetros destubetado, estabilidad estructural y arquitectura radical mediante un análisis de contingencia ($\alpha \leq 0,05$).

Cuando el estadístico χ^2 mostró dependencia estadística, la magnitud de ésta fue evaluada a través del coeficiente de contingencia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Caracterización química de los sustratos.

En la tabla 3 se presentan los resultados de las características químicas de los sustratos.

Tabla 3. Valores medios y desviación típica de la composición química de los sustratos utilizados.

S	PH	CE(S/cm)	MO (%)	K ⁺ (%)	Ca ²⁺ (%)	Na ⁺ (%)	N(%)
BC	6,81 ^a ±0,11	0,34 ^e ±0,01	95,47 ^a ±1,18	0,06 ^b ±0,00	0,64 ^f ±0,14	0,06 ^a ±0,41	1,64 ^f ±0,03
T	5,61 ^c ±0,32	2,15 ^{ab} ±0,21	40,03 ^f ±4,28	0,07 ^b ±0,02	1,81 ^{de} ±0,46	0,04 ^a ±0,01	1,99 ^d ±0,05
C	6,64 ^a ±0,17	2,75 ^a ±0,82	46,95 ^e ±1,36	0,14 ^a ±0,02	3,88 ^a ±0,31	0,04 ^a ±0,00	3,05 ^a ±0,05
T20	6,01 ^b ±0,04	0,91 ^{de} ±0,17	68,21 ^c ±4,30	0,07 ^b ±0,03	2,08 ^{cde} ±0,74	0,08 ^a ±0,02	1,84 ^e ±0,14
T50	6,01 ^b ±0,02	1,54 ^{bcd} ±0,07	57,23 ^d ±1,63	0,06 ^b ±0,01	2,72 ^{bc} ±0,39	0,07 ^a ±0,01	1,83 ^e ±0,15
T80	5,60 ^c ±0,01	1,94 ^{bc} ±0,11	49,97 ^e ±2,74	0,05 ^b ±0,01	1,68 ^e ±0,56	0,05 ^a ±0,00	1,90 ^{de} ±0,06
C20	6,83 ^a ±0,03	1,20 ^{cd} ±0,58	75,62 ^b ±3,23	0,12 ^a ±0,03	1,87 ^{de} ±0,05	0,06 ^a ±0,02	1,94 ^{de} ±0,11
C50	6,82 ^a ±0,03	1,56 ^{bcd} ±0,53	64,06 ^c ±0,49	0,12 ^a ±0,00	2,57 ^{bcd} ±0,41	0,06 ^a ±0,00	2,85 ^b ±0,08
C80	6,78 ^a ±0,09	2,17 ^{ab} ±0,50	54,85 ^d ±0,23	0,12 ^a ±0,02	3,28 ^{ab} ±0,34	0,05 ^a ±0,00	2,80 ^b ±0,04

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para la prueba de comparación de medias de Duncan con una $P < 0,05$.

Los resultados de la tabla anterior mostraron diferencias en el contenido de materia orgánica, correspondiendo los mayores porcentajes al biocarbón debido a su composición química y los menores a turba y cachaza. Las combinaciones cachaza-biocarbón y turba-biocarbón se encontraron entre los valores medios de los constituyentes individuales, lo cual estuvo determinado por la proporción de biocarbón en las mezclas. La materia orgánica es un componente activo del sustrato, contribuye a la mejora de la estructura del espacio poroso, disminuye la densidad e incrementa la humedad, lo que trae consigo una mejor permeabilidad (Fuentes y Oropeza, 1996).

Los valores de pH no mostraron diferencias significativas entre biocarbón y cachaza no siendo así con turba. En el caso de las mezclas de cachaza-biocarbón resultaron semejantes a cachaza, mientras que con turba se asemejó a ésta. Según MINAGRI (1984), clasifica dos tipos de sustratos de acuerdo a estos valores, uno ligeramente ácido que agrupa los sustratos T, T20, T50 y T80 y el

otro próximo a neutro, constituido por BC, C, C20, C50 y C80, ambos considerados no limitantes para el desarrollo vegetal. En este sentido Taíz y Zeiger (2006), reportan que valores entre 5,5 - 6,5 incrementan la disponibilidad de elementos nutricionales y Landis *et al.* (2000), plantean que las especies forestales toleran un intervalo relativamente amplio de valores de pH. Por su lado Guzmán (2003), expone que en los contenedores las plántulas son muy sensibles a alteraciones de pH, debido al lento desarrollo inicial e indicaron un intervalo de pH óptimo entre 5,3 y 6,5. En cualquiera de los sustratos estudiados el pH se encuentra entre los intervalos reportados y comúnmente evaluados como óptimos para la producción de plantas forestales en contenedores.

Con relación a la conductividad eléctrica el biocarbón mostró el menor valor y los mayores resultaron para turba y cachaza. Las mezclas oscilaron con un comportamiento medio entre biocarbón, turba y cachaza, lo que indicó el grado de modificación en las características químicas que experimentaron las mezclas en relación a sus componentes. La conductividad eléctrica es un parámetro muy relacionado con el contenido de sales disueltas, los valores se encuentran dentro del intervalo óptimo recomendado por Noguera *et al.* (2003), para el desarrollo vegetal. Según MINAGRI (1984), la mayoría de los sustratos son evaluados no salinos, exceptuando cachaza y turba que son ligeramente salinos, pero no alcanzan los límites considerados por Warncke y Krauskopf (1983) como nocivos para plantas cuyo valor es de $3,5 \text{ S cm}^{-1}$. Al respecto, cuando existe un exceso de minerales produciendo un efecto salino el crecimiento vegetal puede verse reducido si estos iones alcanzan niveles que limitan la disponibilidad de agua o exceden la zona óptima para un nutriente determinado, aunque su efecto puede ser corregido por lixiviación de las sales con exceso de agua (Ansorena, 1994).

El contenido de elementos nitrógeno, calcio y potasio resultó menor en biocarbón y mayor en cachaza, presentando las mezclas valores semejantes a sus componentes mayoritarios. Sin embargo, la composición de sodio fue similar en todos los sustratos. Margolis y Brand (1990), reportan que el nitrógeno es el macroelemento más abundante y mejor relacionado con el crecimiento en viveros, siendo parte constituyente de muchos compuestos vitales en el desarrollo, como

las clorofilas, los aminoácidos, los ácidos nucleicos, las proteínas, entre otros. En particular, este elemento constituye parte fundamental de los enzimas que reducen el carbono en el proceso de fotosíntesis a compuestos vitales de la planta como son los carbohidratos, por ello su disponibilidad podría implicar mayor producción de biomasa.

3.2 Caracterización física de los sustratos.

En la tabla 4 se presentan los resultados de las propiedades físicas de los sustratos.

Alarcón (2004), refiere que para la evaluación de los sustratos es de marcada importancia la valoración de propiedades físicas tales como densidad aparente y real, porosidad, diámetro medio de partículas, retención de humedad, entre otras.

Tabla 4. Valores medios y desviación típica de las características físicas de los sustratos.

Sustrato	DA (g mL ⁻¹)	DR (g mL ⁻¹)	PT (%)	DMP (mm)	RH (%)
BC	0,26±0,08 ^f	1,53±0,01 ⁱ	82,99±0,59 ^a	0,34±0,01 ⁱ	68,73±1,25 ^a
T	0,62±0,02 ^a	2,02±0,04 ^a	69,59±0,75 ^e	1,03±0,02 ^a	42,10±1,80 ^f
C	0,55±0,01 ^b	1,95±0,01 ^b	71,58±0,64 ^e	1,00±0,06 ^b	53,54±1,15 ^e
T20	0,32±0,01 ^e	1,75±0,03 ^g	81,51±0,91 ^b	0,37±0,01 ^g	64,63±0,67 ^b
T50	0,46±0,02 ^c	1,84±0,01 ^e	75,23±0,88 ^d	0,61±0,01 ^e	57,34±1,53 ^d
T80	0,57±0,01 ^b	1,91±0,03 ^c	70,42±0,33 ^f	0,90±0,02 ^c	52,94±1,42 ^e
C20	0,32±0,02 ^e	1,68±0,02 ^h	81,17±1,07 ^b	0,42±0,01 ^h	65,49±2,16 ^b
C50	0,44±0,01 ^d	1,78±0,00 ^f	75,41±0,61 ^d	0,46±0,01 ^d	59,20±1,09 ^c
C80	0,43±0,02 ^d	1,87±0,00 ^d	76,87±0,91 ^c	0,89±0,01 ^c	58,36±1,04 ^{cd}

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para la prueba de comparación de medias de Duncan con una $P < 0,05$.

Leyenda: densidad aparente (DA); densidad real (DR); porosidad total (PT); diámetro medio de partículas (DMP); retención de humedad (RH).

Se encontró que los valores más bajos de densidad aparente y real corresponden al biocarbón, mientras que los mayores los presentaron cachaza y turba. Las mezclas mostraron valores intermedios al de los constituyentes individuales, lo que evidenció que las proporciones empleadas influyen significativamente en

estas propiedades, evidenciándose que un aumento en la proporción de biocarbón disminuye la densidad.

En relación a la porosidad total, el biocarbón presentó el mayor valor, mientras turba y cachaza los menores, evidenciándose que la porosidad varía con las proporciones empleadas, en la medida que aumenta la cantidad de biocarbón en la mezcla aumenta la porosidad total.

El menor diámetro medio de partículas se presentó en el biocarbón, mientras que turba y cachaza mostraron los mayores, al formar las mezclas entre estos componentes se obtuvieron diámetros de partículas intermedios entre los valores de sus componentes.

La retención de humedad resultó mayor en el biocarbón, seguido por las mezclas donde estuvo presente mayoritariamente, lo que evidenció su influencia en la mayor retención de humedad.

Según criterios de Fonteno (1996), aquellos sustratos que tengan una porosidad total en un intervalo de 75 a 85 % reúnen las características adecuadas. Los materiales con mayor porosidad resultaron ser BC, T20 y C20, siendo mayor en BC. En el caso de los dos últimos, los valores se deben a que mayoritariamente en su composición se encuentra el biocarbón. Con relación a la retención de humedad Abad *et al.* (1999), citado por Guzmán (2003), consideran como adecuados aquellos sustratos que al menos retengan un 50 % de humedad, según este criterio, excepto T el resto de los materiales empleados reúnen esta condición, siendo BC el que mayor contenido de agua retiene. Estos mismos autores consideran la densidad aparente óptima si los valores son menores de $0,2 \text{ g mL}^{-1}$, mientras Cabrerías (1999), refiere que estas densidades no son deseables para sustratos empleados en viveros ya que se incrementan los riesgos de volcado de los contenedores por efecto del viento. Ansorena (1994), obtuvo buenos resultados con valores de la densidad aparente por debajo de $0,4 \text{ g mL}^{-1}$. Los sustratos donde la proporción de biocarbón es mayoritaria se encuentran cercanos a este valor. En cuanto a la densidad real existen diferencias significativas para todos los sustratos, aunque se encuentran dentro de los intervalos recomendados por Ansorena (1994), entre $1,45 \text{ g mL}^{-1}$ y $2,65 \text{ g mL}^{-1}$.

En los sustratos el tamaño de partícula no es homogéneo, tampoco presenta un tamaño único donde la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula. La presencia de partículas muy pequeñas proporciona una disminución de la porosidad total y un aumento de la retención de la cantidad de agua. Un sustrato con tamaño de partículas muy pequeñas se vuelve compacto, en especial, cuando está húmedo, e impide el paso del aire (Noguera *et al.*, 2003).

3.2.1 Correlaciones entre variables físicas de los sustratos.

La matriz de correlación de Pearson (tabla 5) mostró una dependencia altamente significativa ($p < 0,01$) entre las variables analizadas y en su mayoría con más del 90 %. La mayor correlación fue entre la densidad aparente y la porosidad total, aspecto lógico ya que la densidad aparente es un indicador de la porosidad del sustrato.

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson para las variables físicas.

	DMP	RH	DA	PT	DR
DMP	1,000	-0,884(**)	0,931(**)	-0,918(**)	0,843(**)
RH		1,000	-0,943(**)	0,915(**)	-0,913(**)
DA			1,000	-0,992(**)	0,937(**)
PT				1,000	-0,894(**)
DR					1,000

** La correlación es significativa para $p < 0,01$

Leyenda: densidad aparente (DA); densidad real (DR); porosidad total (PT); diámetro medio de partículas (DMP); retención de humedad (RH).

3.3 Dinámica del crecimiento en altura y diámetro.

La figura 3 representa la dinámica de crecimiento en altura y diámetro durante el período de evaluación, comprendido entre los 42 y 84 días, pudiéndose observar un crecimiento mayor entre los 50 y 80 días aproximadamente.

Entre los componentes individuales, los menores valores para ambas variables correspondieron al biocarbón, mientras que cachaza presentó mejores resultados que turba, siendo este comportamiento similar en las mezclas, donde las de turba-biocarbón resultaron inferiores a las de cachaza-biocarbón. Los mejores

resultados se lograron en C80 y C50, lo que indicó que la cachaza incidió favorablemente en el crecimiento y la combinación cachaza-biocarbón proporcionó mejores resultados que los constituyentes individuales.

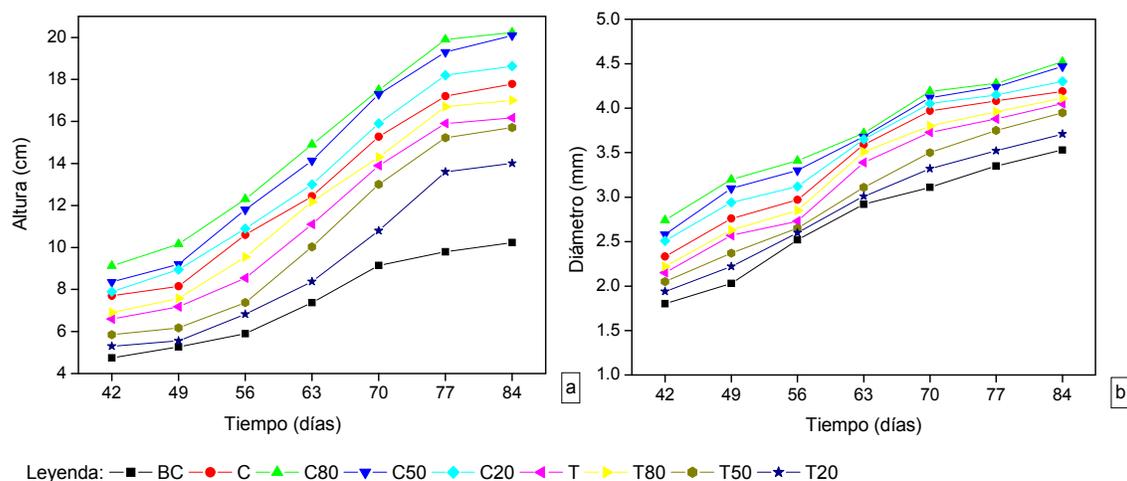


Figura 3. Dinámica de crecimiento de *Talipariti elatum* en diferentes sustratos. (a) altura, (b) diámetro.

Estos resultados difieren con los expuestos por Cobas (2001) para la especie en estudio refiriendo un mayor crecimiento en el intervalo de 75 a 90 días. Autores como Mexal y Landis (1990), refieren que la morfología de una planta cultivada en contenedor es el resultado de varios factores por lo que las diferencias mostradas pudieran ser atribuibles a las condiciones ambientales del vivero, la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreado, el régimen riego, entre otras.

3.4 Caracterización de los atributos de calidad de la planta.

3.4.1 Análisis de los atributos e índices morfológicos.

En las tablas 6 y 7 se exponen los resultados de parámetros e índices morfológicos. Se comprobó que los sustratos C50 y C80 proporcionaron mayores valores de altura de la parte aérea y del diámetro de la base del tallo de la planta a los 84 días después de la siembra, con valores próximos a los 17 cm y 4,5 mm

respectivamente, lo cual pudo estar condicionado a las mejores características químicas y físicas con comportamientos similares, no existiendo diferencias significativas entre ellos, por lo que estas combinaciones de sustratos favorecieron en mayor medida el desarrollo y crecimiento de las plantas. Cobas (2001), reportó valores para esta especie próximo a 15 cm de altura y 3,4 mm de diámetro a los 125 días.

Los datos relativos a la masa seca de la raíz y parte aérea mostraron diferencias significativas entre los sustratos estudiados, las plantas cultivadas en los tratamientos C50 y C80 también presentaron mayores valores medios para la materia seca de la raíz y parte aérea. Estos sustratos propiciaron el mejor desarrollo de la raíz y de la parte aérea. Este hecho probablemente se debe a la adecuada relación entre aire, agua y disponibilidad de nutrientes.

Tabla 6. Valores medios y desviación típica de los parámetros morfológicos.

Sustrato	Parámetros				
	A	D	PSA	PST	PSR
BC	10,24±0,21 ^h	3,53±0,02 ^g	0,65±0,04 ^g	0,88±0,05 ^h	0,23±0,03 ^f
T20	14,01±0,20 ^g	3,71±0,17 ^f	1,05±0,08 ^f	1,41±0,09 ^g	0,36±0,03 ^e
T50	15,71±0,19 ^f	3,95±0,04 ^e	1,17±0,05 ^e	1,54±0,08 ^f	0,38±0,04 ^e
T	10,24±0,21 ^e	4,05±0,05 ^{de}	1,22±0,04 ^d	1,71±0,06 ^e	0,48±0,04 ^d
T80	14,01±0,11 ^d	4,11±0,08 ^{cd}	1,31±0,05 ^c	1,87±0,06 ^d	0,56±0,03 ^c
C	15,71±0,31 ^c	4,20±0,10 ^c	1,37±0,08 ^b	1,98±0,11 ^c	0,61±0,05 ^b
C20	16,17±0,34 ^b	4,30±0,07 ^b	1,43±0,05 ^b	2,07±0,06 ^b	0,64±0,03 ^b
C50	17,01±0,35 ^a	4,47±0,11 ^a	1,53±0,02 ^a	2,24±0,03 ^a	0,71±0,04 ^a
C80	17,79±0,36 ^a	4,53±0,13 ^a	1,56±0,04 ^a	2,29±0,02 ^a	0,72±0,04 ^a

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para la prueba de comparación de medias de Duncan con una P<0,05.

Leyenda: altura (A); diámetro (D); peso seco aéreo (PSA); peso seco total (PST); peso seco radical (PSR).

Los mayores valores del índice de esbeltez se lograron para las mezclas cachaza-biocarbón, siendo superiores en C50 y C80 y los menores para BC, seguido de las mezclas turba-biocarbón, evidenciándose que la presencia de biocarbón influyó de manera positiva en estos resultados.

No se encontraron diferencias significativas para el índice obtenido por la división de la altura de la parte aérea por la materia seca de la parte aérea, excepto biocarbón, llevando a tener menor expectativa de supervivencia para este sustrato.

Con relación al índice de calidad de Dickson, también el mejor resultado se mostró en estas mezclas y el menor valor correspondió al biocarbón.

Tabla 7. Valores medios y desviación típica de los índices morfológicos.

Sustrato	Relaciones e índices			
	IE	A/PSA	PSA/PSR	ICD
BC	2,90±0,05 ^f	15,82±1,05 ^a	2,91±0,40 ^a	0,15±0,15 ^f
T20	3,78±0,20 ^e	13,43±1,00 ^b	2,94±0,32 ^a	0,21±0,10 ^e
T50	3,98±0,07 ^d	13,50±0,53 ^b	3,10±0,23 ^a	0,22±0,16 ^e
T	3,99±0,07 ^d	13,22±0,44 ^b	2,55±0,20 ^b	0,26±0,14 ^d
T80	4,14±0,07 ^c	13,01±0,45 ^b	2,35±0,16 ^{bc}	0,29±0,11 ^c
C	4,24±0,13 ^{bc}	12,97±0,75 ^b	2,26±0,18 ^c	0,31±0,24 ^b
C20	4,33±0,09 ^b	13,04±0,56 ^b	2,24±0,15 ^c	0,32±0,10 ^b
C50	4,49±0,07 ^a	13,16±0,20 ^b	2,15±0,12 ^c	0,34±0,10 ^a
C80	4,47±0,13 ^a	12,95±0,28 ^b	2,17±0,17 ^c	0,35±0,15 ^a

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para la prueba de comparación de medias de Duncan con una $P < 0,05$.

Leyenda: índice de esbeltez (IE); relación entre la parte aérea y la parte radical (PA/PR); índice de calidad de Dickson (ICD).

El diámetro del cuello de la raíz, es uno de los atributos morfológicos más ampliamente utilizados en la caracterización de la calidad de la planta. Ofrece una relación muy favorable entre el bajo costo de su medición y su capacidad de pronóstico de respuesta en el campo, especialmente en zonas adversas donde las predicciones de crecimiento y particularmente de supervivencia son más difíciles de establecer (Barnett, 1984). Para algunos autores este atributo es el que pronostica con mayor precisión la supervivencia y el crecimiento postrasplante. Esta afirmación se fundamenta en la relación que existe, por un lado, entre el diámetro del cuello de la raíz y el grado de lignificación del tallo, asociado con la resistencia mecánica y a las altas temperaturas de la superficie del suelo, y por otro lado con el desarrollo radical, lo que explica las mejores correlaciones entre

estos atributos y otros morfológicos como la masa total de la planta o la masa radical (Mexal *et al.*, 1990; Peñuelas, 1991; Serrada, 1993).

Según Thompson (1985), el peso seco es una medida mucho más estable que el peso fresco, ya que el mismo está sujeto a alternancias ambientales y fisiológicas, y muy asociado con la altura, diámetro, área foliar, actividad fotosintética y potencial de crecimiento radical.

La acción que ejerce el sistema radical sobre el sustrato, consecuencia de la ocupación por parte de las raíces de un volumen considerable de huecos, pudiendo alcanzar o superar el 10 % del volumen total según la morfología radical de la especie, provoca una disminución en las disponibilidades de aire y agua, afectándose la disponibilidad de nutrientes para las plantas y su desarrollo radical (Zazo, 1997).

Mateo *et al.* (2011), plantean que entre las relaciones de los parámetros morfológicos usados para evaluar la calidad de plántulas de especies arbóreas, la relación altura de la parte aérea y el diámetro del cuello de la raíz (índice de esbeltez) constituye uno de los atributos más importantes para estimar el crecimiento de las plántulas después del establecimiento en el campo. Este índice relaciona la resistencia de la planta con su capacidad fotosintética (Toral, 1997). Se recomienda que los valores sean bajos, lo que indica una planta más robusta y con menos probabilidad de daño físico por la acción del viento, sequía o heladas en el sitio de plantación (Thompson, 1985). Estos resultados pudieran favorecer el establecimiento de plántulas. Según Carneiro (1985), cuanto menor sea este valor, mayor será la capacidad de supervivencia y de establecimiento de las plantas. Los resultados indicaron que todos los valores fueron inferiores a 4,5, obteniendo valores similares a los reportados por Cobas *et al.* (2001) y León (2010), para la especie en estudio.

El índice obtenido por la división de la altura de la parte aérea por la materia seca de la parte aérea resulta de gran utilidad para predecir el potencial de supervivencia de las plántulas en el campo, a pesar de no ser comúnmente usado como un índice para evaluar el patrón de calidad en fase de establecimiento. Cuanto menor es este índice, más lignificada está la planta y mayor deberá ser la

capacidad de supervivencia (Gomes, 2001). En este sentido Zumkeller *et al.* (2009), obtuvieron para *Tabebuia heptaphylla* valores superiores de hasta de 32.

La relación entre materia seca de la parte aérea y la materia seca de la raíz es considerada como un índice eficiente y seguro para expresar la calidad de las plantas (Parviainen, 1981). Se propuso que 2,0 sería la mejor relación entre estos atributos (Brissete y Barnett 1991). En el experimento esta relación se encontró próximo a este valor en C y las mezclas con ésta (C, C20, C50 y C80), no existiendo diferencias significativas, mientras que en BC, T y las mezclas T-BC los valores se encontraron por encima, sin embargo fueron inferiores a 3,1.

Según lo recomendado por Hunt (1990), de un valor mínimo de ICD de 0,20, se observa que las plántulas de *T. elatum*, excepto en BC, alcanzaron esos valores, indicando que presentan calidad suficiente para ser plantadas. Los mejores resultados se presentaron en C50 y C80. Estos valores resultaron semejantes a los encontrados por Mateo *et al.* (2011), con valores entre 0,17 y 0,30 para la producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín.

El ICD combina la información de los índices de esbeltez y la relación entre el PSA y PSR y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que, por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas (Oliet, 2000).

3.4.2 Correlaciones entre atributos e índices morfológicos de las plantas.

En la matriz de correlación (tabla 8), se puede observar la relación entre los atributos e índices morfológicos de las plantas. Las correlaciones más fuertes se presentaron en las variables peso total con peso seco aéreo.

Tabla 8. Matriz de correlación de Pearson para atributos e índices morfológicos.

	A	D	PSA	PSR	PST	IE	PA/PR	ICD
A	1							
D	0,947(**)	1						
PSA	0,978(**)	0,906(**)	1					
PSR	0,945(**)	0,916(**)	0,930(**)	1				
PST	0,982(**)	0,925(**)	0,990(**)	0,973(**)	1			
IE	0,962(**)	0,827(**)	0,961(**)	0,884(**)	0,948(**)	1		
PA/PR	-0,688(**)	-0,701(**)	-0,635(**)	-0,856(**)	-0,731(**)	-0,610(**)	1	
ICD	0,948(**)	0,925(**)	0,946(**)	0,995(**)	0,981(**)	0,888(**)	-0,838(**)	1

** La correlación es significativa para $p < 0,01$

Leyenda: altura (A); diámetro del cuello de la raíz (D); peso seco aéreo (PSA); peso seco total (PST); índice de esbeltez (IE); relación entre la parte aérea y la parte radical (PA/PR); índice de calidad de Dickson (ICD).

3.4.3 Análisis para la diferenciación de los sustratos empleados en la producción de *T. elatum*.

El análisis de los estadísticos descriptivos del análisis discriminante arribó que con tres funciones canónicas se explicó la variación con autovalores muy diferentes (tabla 9). La primera función explicó el 96,6 % de la variabilidad mostrada entre los datos con una correlación canónica mayor; mientras que la segunda función sólo explicó el 3,3 %.

Tabla 9. Estadísticos descriptivos del análisis discriminante.

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	184,222	96,6	96,6	0,997
2	6,310	3,3	99,9	0,929
3	0,137	0,1	100,0	0,347

La Lambda de Wilks (tabla 10) contrastó de manera jerárquica la significación de las tres funciones obtenidas. En la primera línea (1 a la 3) se comprobó que el modelo completo (las tres funciones discriminantes) no permite distinguir los grupos, puesto que el valor del estadístico Lambda de Wilks tiene asociado un nivel crítico ($p=0,000$) menor que 0,05, lo cual reveló que existe una gran

diferencia entre los grupos. En la segunda línea (2 a la 3) se contrastó que las medias de los grupos son iguales en la segunda función discriminante. En este caso, también el nivel crítico fue menor que 0,05, por lo que se pudo constatar que la segunda función permitió discriminar, al menos entre dos grupos.

Tabla 10. Significación de las tres funciones discriminantes obtenidas.

Contraste de las funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1 a la 3	0,001	410,970	24	0,000
2 a la 3	0,120	118,563	14	0,000
3	0,880	7,168	6	0,306

En la tabla 11 se muestra la ubicación de los centroides en cada una de las funciones discriminantes. La primera función distingue fundamentalmente los grupos T80, C, C20, C50 y C80 (cuyos centroides están ubicados en la parte positiva) de los otros cuatro grupos (cuyos centroides están ubicados en la parte negativa) BC, T20, T50 y T. En la segunda función los centroides de los grupos BC, T80, C, C80, y C50 se situaron en la parte positiva y el grupo T20, T50 y T en la negativa y C20 quedó en la parte central. Estos resultados evidenciaron que la primera función consiguió explicar el máximo de diferencias entre los grupos T80, C, C20, C50 y C80 y el resto y la segunda función discrimina entre los grupos que quedaron más próximos en la primera función.

Tabla 11. Valores de los centroides en las funciones discriminantes.

Sustrato	Función		
	1	2	3
BC	-26,447	3,827	-0,222
T20	-11,569	-2,894	0,602
T50	-5,296	-4,383	-0,637
T	-2,263	-1,133	0,089
T80	1,790	1,022	0,057
C	5,198	1,296	0,206
C20	8,542	0,081	0,293
C50	14,701	1,233	-0,297
C80	15,343	0,950	-0,090

En la tabla 12 se muestra la matriz de coeficientes estandarizados la cual contiene tres columnas, una para cada función discriminante. La variable de mayor poder de discriminación en la primera función resultó ser la altura, la cual presentó mayor correlación canónica.

Al tener los sustratos T80, C, C20, C50 y C80 los centroides positivos para la primera función se pudieron comprobar que las plántulas de mayor altura corresponden a estos sustratos.

La segunda función atribuye la mayor ponderación al peso seco de las raíces finas, puesto que los centroides de BC, T80, C, C20, C50 y C80 son positivos y los de T20, T50 y T son negativos, lo cual reflejó que las plántulas con mayor peso seco de la raíces finas pertenecen a BC, T80, C, C20, C50 y C80 y los de menor a T20, T50 y T.

Tabla 12. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas.

	Función		
	1	2	3
Altura	0,947	-0,255	-0,267
Peso seco raíz principal	0,245	-0,700	0,832
Peso seco raíces finas	0,321	1,036	0,175

La matriz de estructura (tabla 13) ofrece los coeficientes de correlación entre las variables independientes y las puntuaciones discriminantes de cada función. La misma indicó que en la primera función la variable altura resultó la de mayor correlación, en la segunda el peso seco de las raíces finas y en la tercera el peso seco de la raíz principal.

Tabla 13. Matriz de estructura.

	Función		
	1	2	3
Altura	0,881(*)	-0,200	-,429
Peso seco raíces finas	0,357	0,764(*)	0,538
Peso seco aéreo(a)	0,133	0,133(*)	-0,048
Peso seco raíz principal	0,208	-0,225	0,952(*)
Diámetro(a)	0,141	0,094	-0,220(*)

Correlaciones intra-grupo combinadas entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas tipificadas

Variables ordenadas por el tamaño de la correlación con la función.

(*) Mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante.

(a) Esta variable no se emplea en el análisis.

La figura 4 muestra el diagrama de dispersión de los nueve sustratos en las funciones discriminantes, donde se evidenció que los mejores sustratos corresponden a C50 y C80, sin diferencias entre ellos, y el menos adecuado resultó ser el BC, lo cual pudiera estar asociado a la influencia del mismo como acondicionador de sustrato. Cada sustrato resultó ser discriminado con excepción del sustrato C80 y C50 que presentaron similar comportamiento en las variables evaluadas por lo que de nueve sustratos iniciales el análisis logra discriminar solo ocho de ellos.

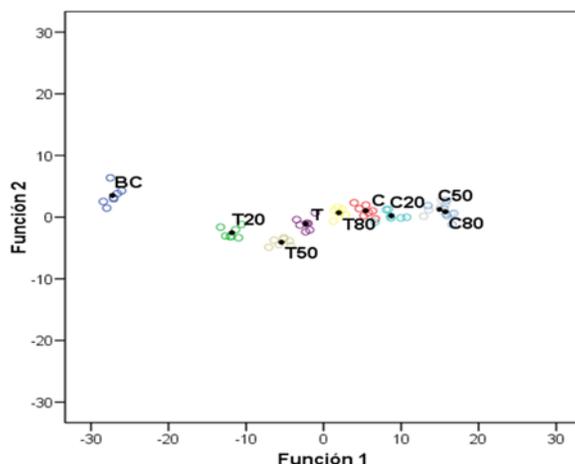


Figura 4. Diagrama de dispersión de los nueve grupos (sustratos) en las dos funciones discriminantes.

Frecuentemente los análisis estadísticos empleados para la evaluación y selección de sustratos a partir de variables morfométricas consisten en análisis de la varianza simple. En muchos casos, las variables que se evalúan, no indican de manera clara la diferenciación de los mismos y la selección debido a las limitaciones del método de análisis. En un estudio realizado por Zumkeller *et al.* (2009) para la producción de plantas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo, en

diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero se encontró que no todas las mejores características de las variables métricas analizadas correspondieron al mismo sustrato, lo cual puede dificultar la selección del más adecuado. De igual forma Chirino *et al.* (2008) realizaron un análisis de varianza para las características morfológicas de *Quercus suber* L. en dos tipos de contenedores, encontrándose que algunas de las variables resultaron mejores para un tipo y otras en el otro, por lo que tampoco se puede concluir si se puede o no diferenciar los envases a partir de las variables medidas.

El estudio permitió la diferenciación de los sustratos (grupos) mediante el empleo del análisis discriminante a partir de la combinación lineal de las variables morfométricas independientes, obteniendo una función discriminante que además facilitó el reconocimiento de la variable altura con mayor contribución a la discriminación. Así mismo, esta variable puede ser propuesta como predictora para la selección del sustrato.

3.5 Resultados de las variables destubetado, estabilidad del sustrato y arquitectura radical de las plantas.

La prueba chi-cuadrado (χ^2) a través del coeficiente de contingencia mostró interacción entre la variable sustrato, facilidad al destubetado, estructura radical y estabilidad del cepellón.

En la figura 5, se pudo apreciar que solo T presentó un destubetado difícil, C y T80 aceptable y el resto de los sustratos resultaron fáciles. Se comprobó dependencia entre la variable sustrato y facilidad al destubetado ($p < 0,05$) con un coeficiente de contingencia de 0,778, por lo que se asevera que al aumentar la proporción de BC en las mezclas este incide favorablemente en esta propiedad.

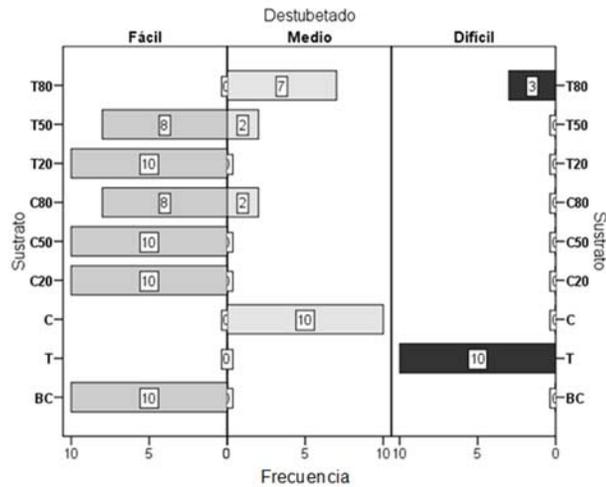


Figura 5. Histograma de frecuencia que muestralos niveles del destubetado.

La arquitectura radical resultó buena para la mayoría de los sustratos (figuras 6 y 7a, b y c), excepto T que se consideró malo. También se encontró dependencia del sustrato con la arquitectura radical ($p < 0,05$) para un coeficiente de contingencia de 0,796, indicando que la presencia de BC favorece el sistema radical.

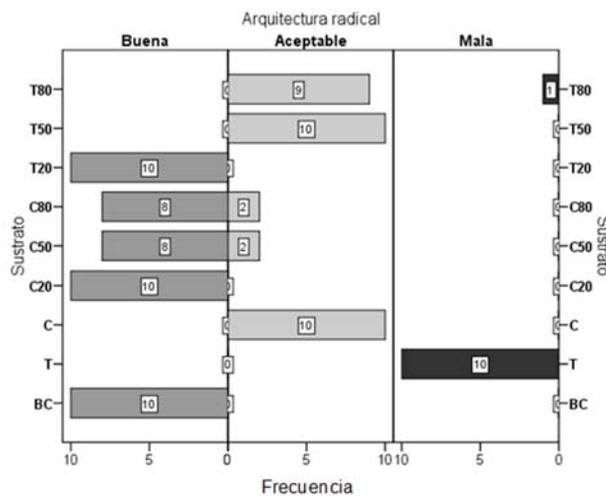


Figura 6. Histograma de frecuencia que muestra los niveles de arquitectura radical.



Figura 7. Arquitectura radical. (a) Buena, (b) Aceptable, (c) Mala.

Se demostró además relación entre la variable sustrato y estabilidad del cepellón ($p < 0,05$) y un coeficiente de contingencia de 0,769, resultando BC con baja estabilidad, mientras T20 y C20 una estabilidad intermedia y el resto de los sustratos buena estabilidad. Estos resultados reflejaron que las altas proporciones de BC incidieron negativamente en la estabilidad del cepellón (figura 8).

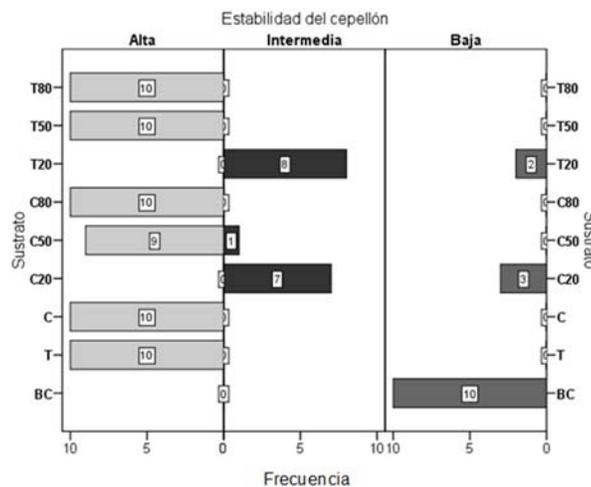


Figura 8. Histograma de frecuencia que muestra los niveles de estabilidad del cepellón.

Las variables arquitectura radical, estabilidad del cepellón y destubetado están estrechamente relacionadas entre sí, las cuales se deben tener en cuenta a la hora de estudiar los sustratos, pues del buen comportamiento de ellas depende en gran medida el éxito de la plantación (Castillo, 2006). El destubetado es una propiedad física asociada a la arquitectura radical y las propiedades físicas de los sustratos. Un menor grado de desarrollo del sistema radical puede disminuir la

estabilidad del cepellón. En las plantas que reflejaron una mayor colonización de las raíces sobre el sustrato la resistencia al destubetado fue menor. Castillo *et al.* (2006), obtuvieron un destubetado fácil en la evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de *Eucalyptus grandis*.

3.6 Atributos fisiológicos.

3.6.1 Comportamiento de los parámetros hídricos.

La capacidad para mantener una turgencia celular adecuada a bajos potenciales hídricos (valores más negativos), está relacionada principalmente con el potencial osmótico y con las propiedades elásticas de la pared celular (Dreyer *et al.*, 1990; Pardos y Pardos, 2000; Azcon-Bieto y Talón, 2001).

En las figura 9 y 10 se muestra el comportamiento del potencial de soluto a máxima saturación (Ψ_s^{100}) y en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_s^0) para cada sustrato empleado durante el tiempo que se mantuvo las plántulas en los contenedores, donde se comprobó que ambos mostraron comportamientos similares con una tendencia decreciente (potenciales más negativos), y diferencias significativas entre los momentos de inicio y final del período evaluado para todos los sustratos.

El análisis a nivel de sustratos mostró los valores más bajos en T y los mayores en BC. En las mezclas de mayor proporción de biocarbón (T20 y C20) no se mostraron diferencias estadísticamente significativas, lo que indicó que las propiedades están condicionadas por las altas cantidades de biocarbón, mientras los potenciales osmóticos en el resto de los sustratos oscilaron entre los valores de turba y biocarbón.

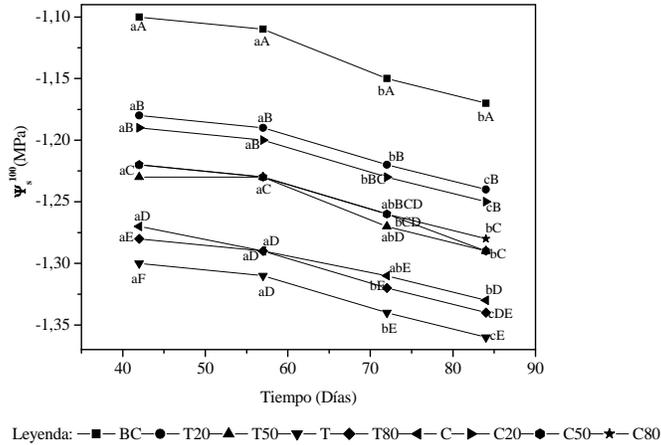


Figura 9. Potencial de soluto de *T. elatum* a máxima turgencia en diferentes tiempos para cada uno de los sustratos empleados.

Letras mayúsculas desiguales corresponden a los sustratos y difieren significativamente para prueba de comparación de medias de Duncan con $P < 0,05$, mientras que letras minúsculas desiguales corresponden a los días.

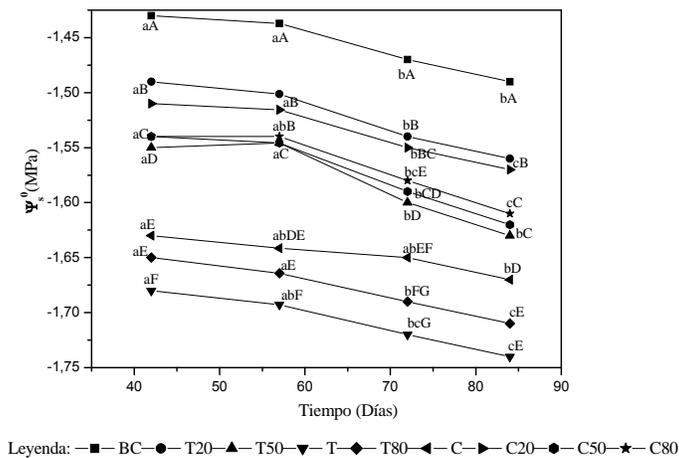


Figura 10. Potencial de soluto de *T. elatum* a cero turgencia en diferentes tiempos para cada uno de los sustratos empleados.

Letras mayúsculas desiguales corresponden a los sustratos y difieren significativamente para prueba de comparación de medias de Duncan con $P < 0,05$, mientras que letras minúsculas desiguales corresponden a los días.

En todos los sustratos, durante el período evaluado, la especie desarrolló mecanismos de ajuste osmótico con una disminución tanto Ψ_s^{100} como de Ψ_s^0 . El ajuste osmótico relacionado con la acumulación activa de solutos tales como azúcares solubles, ácidos orgánicos y prolina (Castellarin *et al.*, 2007; Szabados y Saviouré, 2010), induce a una disminución del potencial osmótico a plena turgencia o en el punto de inicio de la plasmólisis, permitiendo la turgencia celular a bajos potenciales hídricos y a la vez favorecen procesos fisiológicos tales como; crecimiento celular, apertura estomática y la fotosíntesis (Deluc *et al.*, 2009, citado por Bavestrello-Riquelme *et al.*, 2013). En este sentido Donoso *et al.*, (2011) refieren que *Cryptocarya alba* sometida a estrés hídrico presentó ajuste osmótico, siendo un indicador de mayor concentración de solutos que contribuye al mantenimiento de la turgencia celular.

El ajuste osmótico permite una mayor retención hídrica y con ello, el mantenimiento de la turgencia celular (Aguirre, 2008). En este sentido, las diferencias estadísticas encontradas con relación a los sustratos son atribuibles a las propiedades físicas, en aquellos donde la retención de humedad es mayor se encontró que los potenciales osmóticos son más altos (más próximo a cero) por lo que la planta requiere de menos esfuerzos para la absorción del agua.

Los valores del módulo de elasticidad de la pared celular (figura 11) resultaron con diferencias significativas para la mayoría de los sustratos. Los mayores valores se reportaron en BC y los menores en T.

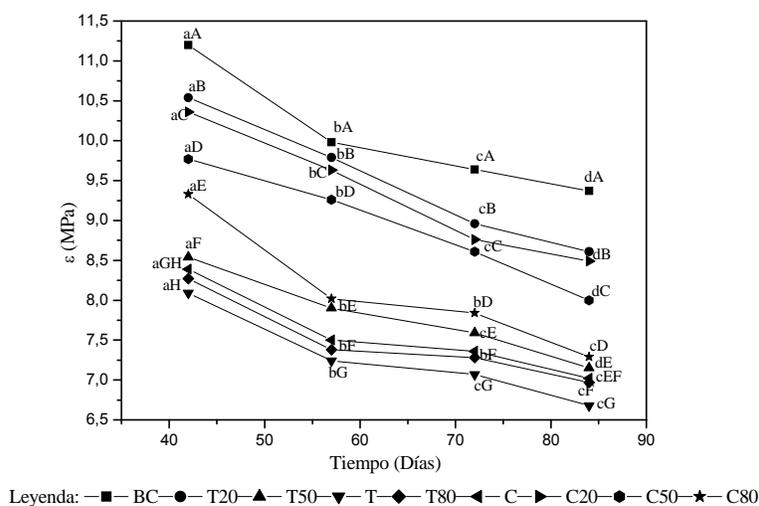


Figura 11. Módulo de elasticidad de la pared celular en *T.* en diferentes tiempos para cada uno de los sustratos empleados.

Letras mayúsculas desiguales corresponden a los sustratos y difieren significativamente para prueba de comparación de medias de Duncan con $P < 0,05$, mientras que letras minúsculas desiguales corresponden a los días.

Herralde (2000), plantea que el ajuste elástico es una propiedad de las paredes de las células vegetales descrito a través del módulo de elasticidad que manifiesta los cambios del potencial de turgencia en función de las variaciones en el contenido hídrico celular. En este sentido, agrega que valores bajos del módulo de elasticidad, indican una mayor elasticidad de las paredes celulares. Lenz *et al.* (2006), refieren que las paredes celulares más elásticas presentan menores valores de módulo de elasticidad, permitiendo el ajuste de la pared a medida que entra o sale agua de la célula manteniendo una presión constante fundamental para seguir con los diversos procesos fisiológicos de la planta. Por su parte Ruiz (1999), asevera que paredes celulares rígidas con altos módulos volumétricos de elasticidad no permiten tal ajuste y por lo tanto no son capaces de mantener su presión, la cual no es suficiente para mantener la tasa de división celular y otros procesos de vital importancia para la planta.

Algunos investigadores han medido el módulo de elasticidad de la pared celular en algunas especies. Lenz *et al.* (2006), reportan paredes elásticas para *Prosopis pallida* con módulos de elasticidad de 16-24 MPa y Corcuera (2003) para el género *Quercus*, valores entre 11-20 MPa. Estos resultados permiten inferir que en todos los sustratos la especie objeto de estudio desarrolló paredes elásticas, lo que le garantiza una mayor resistencia al estrés hídrico, con una tendencia al ajuste elástico. En este contexto, las variaciones del módulo de elasticidad se pueden explicar debido a factores como el tamaño celular, la composición química de las paredes (reflejado en la proporción de los diferentes componentes), o la edad de la hoja (Herralde, 2000; Salleo y Lo Gullo, 1990).

En la figura 12 se presentan los valores del contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia (punto de inicio de la plasmólisis). Se pudo comprobar que existe una tendencia a la disminución del CHR⁰ durante el período en estudio, lo que pudiera atribuirse a la propia biología de la especie, evidenciándose diferencias significativas en los sustratos. El mayor CHR⁰ resultó en BC y menor para T.

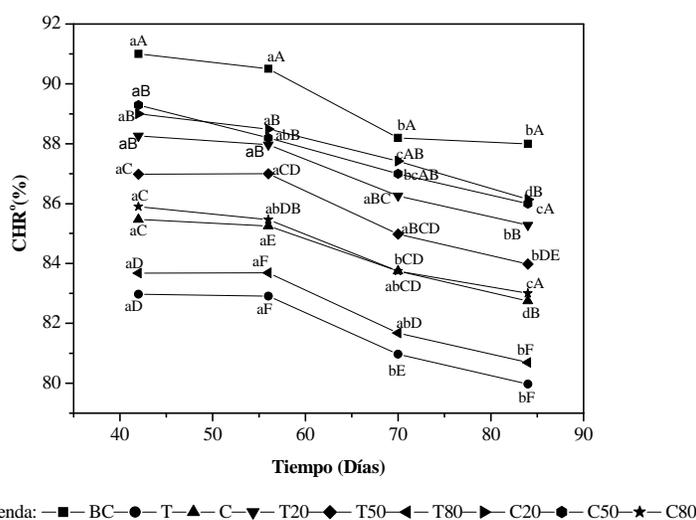


Figura 12. Contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia de *T. elatum* en diferentes tiempos para cada uno de los sustratos empleados.

Letras mayúsculas desiguales corresponden a los sustratos y difieren significativamente para prueba de comparación de medias de Duncan con $P < 0,05$, mientras que letras minúsculas desiguales corresponden a los días.

En la tabla 14, se muestra la matriz de correlación entre los parámetros hídricos, reflejando que el comportamiento similar para los parámetros hídricos puede ser explicado por la alta correlación existente.

Tabla 14. Matriz de correlación entre los parámetros hídricos.

	CHR ⁰	Ψ_s^{100}	Ψ_s^0	ϵ
CHR ⁰	1	0,800(**)	0,811(**)	0,852(**)
Ψ_s^{100}		1	0,947(**)	0,873(**)
Ψ_s^0			1	0,864(**)
ϵ				1

** La correlación es significativa para $p < 0,01$

Leyenda: contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de turgencia (CHR⁰); potencial de soluto a máxima saturación (Ψ_s^{100}), potencial de soluto en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_s^0); módulo de elasticidad de la pared celular (ϵ).

En la tabla 15 se demuestra la alta correlación que existe entre las variables hídricas y físicas de los sustratos, lo que manifiesta la respuesta hídrica de la especie bajo las diferentes propiedades físicas de los sustratos. Se encontró correlaciones positivas entre la porosidad total, retención de humedad y los parámetros hídricos evaluados, lo que indicó que en aquellos sustratos de mayor retención de humedad la especie desarrolló paredes de mayor módulo de elasticidad y mayores potenciales de solutos.

Tabla 15. Matriz de correlación entre las variables físicas de los sustratos y los parámetros hídricos.

	CHR ⁰	Ψ_s^{100}	Ψ_s^0	ϵ
DA	-0,771(**)	-0,865(**)	-0,887(**)	-0,935(**)
DR	-0,818(**)	-0,824(**)	-0,831(**)	-0,913(**)
PT	0,739(**)	0,860(**)	0,891(**)	0,918(**)
DMP	-0,703(**)	-0,874(**)	-0,876(**)	-0,917(**)
RH	0,812(**)	0,891(**)	0,904(**)	0,933(**)

** La correlación es significativa para $p < 0,01$

Leyenda: contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de turgencia (CHR⁰); potencial de soluto a máxima saturación (Ψ_s^{100}), potencial de soluto en el punto de pérdida de turgencia (Ψ_s^0); módulo de elasticidad de la pared celular (ϵ); densidad aparente (DA); densidad real (DR); porosidad total (PT); diámetro medio de partículas (DMP); retención de humedad (RH).

3.6.2 Análisis nutricional.

Si bien el interés del conocimiento del estado nutritivo de las plantas para repoblación es su correlación con la respuesta postrasplante, el diagnóstico basado en analítica de los tejidos permite además destacar el estado de cada nutriente en relación a deficiencia, óptimo, consumo de lujo y toxicidad, tanto como para utilizarlo como atributo final de calidad de planta como para estudiar las necesidades nutritivas a lo largo del cultivo. Independientemente de la concentración final óptima que maximice la calidad de la planta (Oliet *et al.*, 1999). En la figuras 13, 14 y 15 se representan los nomogramas vectoriales para el diagnóstico de nitrógeno, fósforo y potasio foliar en cada sustrato empleado durante el período de permanencia de las plantas en los contenedores. Los resultados evidenciaron que durante el primer período, que comprendió entre los 45 días posterior a la siembra hasta los 56, en la mayoría de los sustratos, con excepción de BC, hubo un aumento de la concentración del nitrógeno foliar, indicando que durante ese período, el abastecimiento de N fue suficiente permitiéndole al vegetal un consumo de lujo (López y Alvarado, 2010). Según criterios de Haase y Rose (1995); Imo y Timmer (1997) y Salifu y Timmer (2001) el aporte en el BC fue apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal.

Durante los 15 días posteriores, es decir, a partir de los 54 y hasta los 77 días el crecimiento continuó, pero el nitrógeno se diluyó en la mayoría de los sustratos; por lo que, el aporte de nitrógeno no fue suficiente. Solo C, C80 y en menor medida C20 y C50 proporcionaron cantidades suficientes.

En la etapa final de la evaluación ninguno de los sustratos aportó cantidades suficientes al vegetal, evidenciándose un incremento en el crecimiento con una consecuente disminución en la concentración del elemento en el tejido vegetal provocando dilución del mismo. López y Alvarado (2010), plantean que bajo estas condiciones el elemento puede limitar el crecimiento.

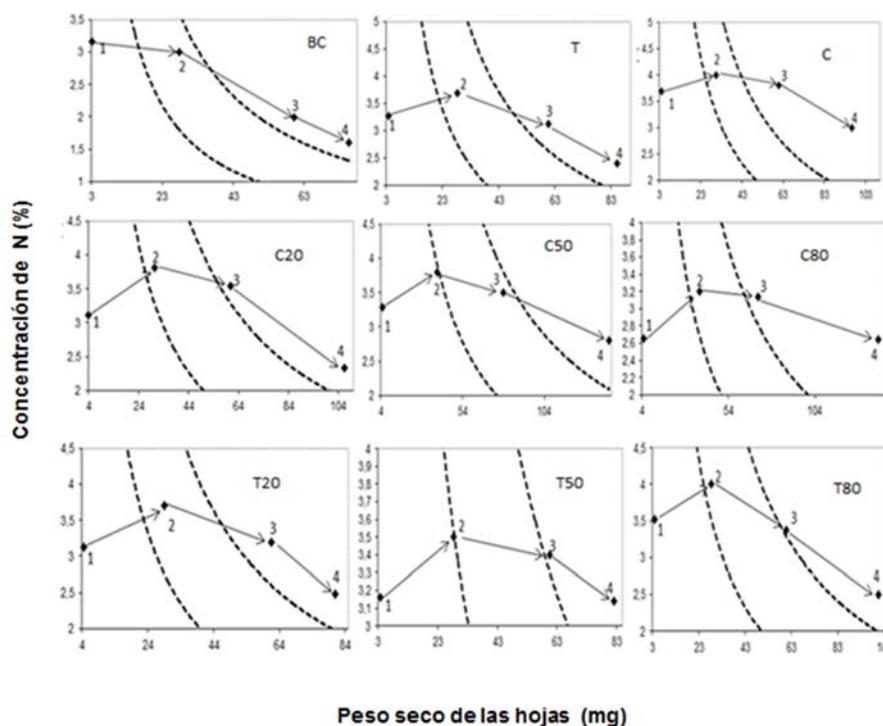


Figura13. Nomogramas vectoriales para el análisis de nitrógeno foliar.

El aporte de fósforo fue suficiente durante todo el período en los sustratos que contenían C, no siendo así en el BC, T y las mezclas entre estos últimos, que en los últimos 15 días, es decir a partir de 54 días, ocurrió una dilución en el tejido foliar, por lo que no fueron aportadas las cantidades suficientes (figura 14).

El fósforo interviene decisivamente con el nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que forma parte de moléculas esenciales como el ATP y el ADP o

los fosfolípidos (constituyentes de las membranas celulares) y tienen un papel regulador en la síntesis de almidón y otros carbohidratos. En cuanto a la morfología de la planta, el fósforo estimula el desarrollo del sistema radical frente al aéreo, contribuyendo a producir plantas más equilibradas en contenedor. Numerosas experiencias confirman esta relación (Timmer *et al.*, 1987; Oliet, 1995; Ruiz y Domínguez, 1997). Asimismo, otros trabajos confirman una relación positiva entre la concentración de este elemento y la producción de nuevas raíces en condiciones controladas, lo que sin duda tiene una importancia fundamental en la supervivencia.

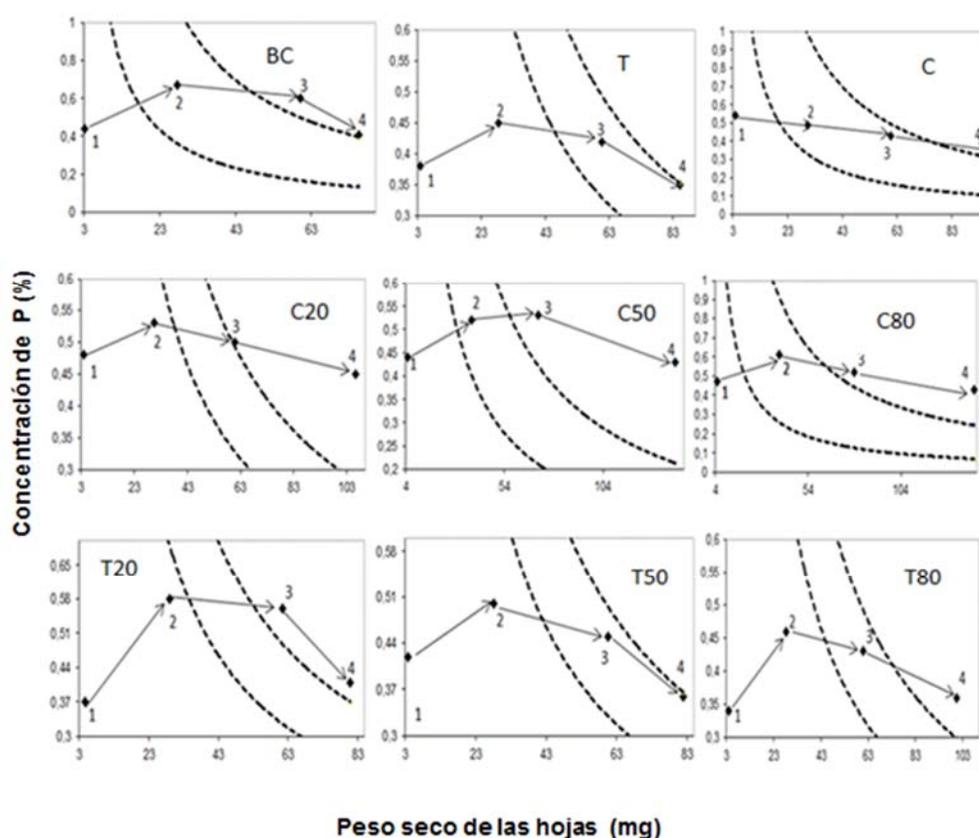


Figura 14. Nomogramas vectoriales para el análisis de fósforo foliar.

Con relación al suministro de potasio se pudo comprobar que todos los sustratos abastecieron las cantidades suficientes e incluso en la mayoría con un consumo de lujo, por lo que este elemento no limita el incremento del peso seco.

El potasio, después del nitrógeno es el elemento esencial requerido en mayores cantidades por la planta. Aunque no forma parte de ninguna molécula orgánica, el

papel más conocido en la fisiología de la planta es el ajuste osmótico y en la regulación de la apertura estomática, contribuyendo a la disminución de las pérdidas por transpiración.

La concentración de potasio en tejidos está relacionada asimismo con el vigor de la planta en vivero, mejorando la resistencia a enfermedades criptogámicas. Estas propiedades, junto con la mejora en la resistencia al frío, convierten al potasio en un elemento esencial en el proceso del arraigo (Landis, 1997).

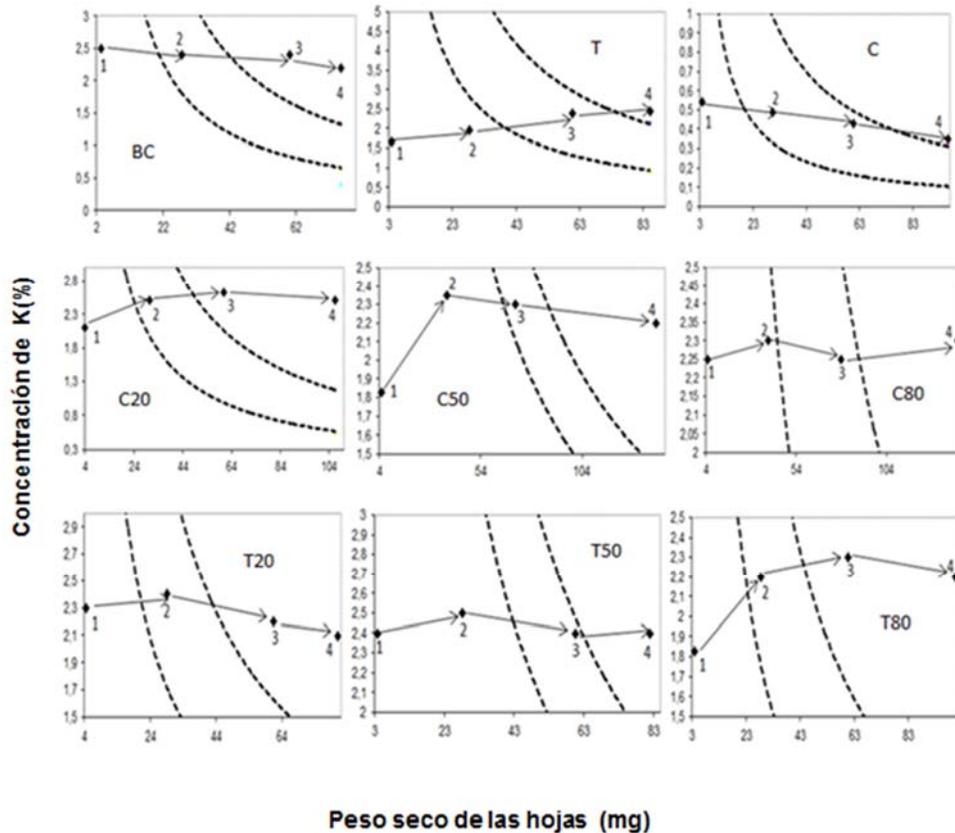


Figura 15. Nomogramas vectoriales para el análisis de potasio foliar.

CONCLUSIONES

- Se demostró que el biocarbón presenta un efecto acondicionador en las propiedades físicas de los sustratos, facilitando el destubetado, mayor retención de humedad y menor densidad, lo cual permite el desarrollo de un buen sistema radical.
- La especie mostró una respuesta morfológica más favorable en las mezclas C50 y C80, atribuible a las características físicas y químicas de los sustratos.
- El análisis de discriminante permitió diferenciar los sustratos, con excepción de C50 y C80, donde la altura resultó de mayor contribución en la función discriminante.
- La especie presentó diferentes respuestas hídricas, mostrando ajuste osmótico y elástico que posibilitan el mantenimiento de la turgencia celular a bajos potenciales hídricos.
- Los nomogramas vectoriales reflejan el comportamiento nutricional, indicando que C50 y C80 aportaron cantidades suficientes para el crecimiento de la especie en la mayor parte del período evaluado.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento de las variables dasométricas en la etapa de plantación en relación con la respuesta hídrica durante la fase de vivero.
- Emplear los nomogramas vectoriales para evaluar los aportes nutricionales de los sustratos para la producción de plántulas en contenedores.
- Presentar estos resultados a la Dirección Nacional Forestal con vista al empleo del biocarbón como acondicionador de las propiedades físicas de sustratos orgánicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., P. F. Martínez, M. D. Martínez, y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- Abad, M.; Noguera, P. 1999. Los sustratos en el cultivo sin suelo: Manual de cultivo Sin suelo. 2da Ed. Coedición Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alemania. Almería y Grupo Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Abad, M.; Noguera, P. y Burés S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- Abarca, S.; Aguilar, R. 2002. Producción de sustratos para vivero. Disponible en: <http://ns1.oirsa.org.sv/-Publicaciones/VIFINEX/ManualesCosta-Rica/Sustratos-para-viveros-06.htm>
- Aguirre, A. 2008. Identificación de mecanismos fisiológicos desarrollados por *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Peumo) ante condiciones de sequía. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 33 p.
- Alarcón, A. 2004. Introducción a los cultivos sin suelo. *In*: curso de fertirriego: manejo en suelos y sustratos agrícolas. San José, Costa Rica. 23 p.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. España. 172 p.
- Azcon-Bieto. J., Talón, M. 2001. Fundamentos de fisiología vegetal. Interamericana McGraw-Hill. Barcelona. España. 420 p.
- Barnett, J. P. 1984. Relating seedling physiology to survival and growth in container-grown southern pines. *En*: Duryea, M. L., Brown, G. N. (Eds.): Seedling physiology and reforestation success. Nijhoff/Junk Pub. 157-178 p.

- Bonilla, M. 2001. Evaluación del comportamiento de *Pinus tropicalis* Morelet en la fase de vivero con tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 100 p.
- Bradford K.J., Hsiao T. C. 1982. Physiological response to moderate water stress in: Encyclopedia of plant Physiology. New serie. Vol 12. 263-324.
- Bragg, N. C.; Chambers, B. J. 1988. Interpretation and advisory applications of air-filled porosity (AFP) measurements. Acta Horticultura 221:35-44
- Brissette, J. C.; Barnett, J. P. y Landis, T. D. 1991. Container seedlings. En: Duryea, M. L. & Dougherty, P. M. (Eds.) Forest Regeneration Manual. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 117-141.
- Burdett, A. N. 1983. Quality control in the production of forest planting stock. For. Chron. June: 132 p.
- Burdett, A. N. 1987. Understanding root growth capacity: theoretical considerations in assessing planting stock quality by means of root growth test. Canadian Journal of Forestry Research. 17: 768-775.
- Burdett, A. N.; 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. Can. J. For. Res. 20: 415-427. Journal of Forestry Research 20: 415-427.
- Burés, S. 2002. Sustratos. Agrotécnicas S L. Barcelona, España. 342 p
- Cabrera, R. 1999. Fundamentals of container media management, part 2: Measuring physical properties. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. The State University.
- Cabrera, R. 1999. Fundamentals of container media management, part 2: Measuring physical properties. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. The State University.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. hortic. 5 (1): 5-11.

- Cairo, P. y Fundora, O. 2002. Edafología. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana. 476 p.
- Calderon, S. F.; Cevallos, F. L 2001. Los sustratos. (en línea). Disponible en: <http://www.drcarideroniabs.com/index.html>
- Calderon, S. F.; Cevallos, F. L 2001. Los sustratos. (en línea). Disponible en: <http://www.drcarideroniabs.com/index.html>
- Carneiro, J. 1995. Produção e controle de qualidade de mudas floresta is Universidade Federal de Panamá. Curitiba. 451 p.
- Castellarin, S.D.; Pfeiffer, A.; Sivilotti, P.; Degan, M.; Peterlunger, E.; Di Gaspero, G. 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant, Cell and Environment* 30: 1381-1399.
- Castillo Martínez I. C., Medina R., Muñoz, González Izquierdo E., Cobas López M. y Bonilla Vichot M. 2006. Evaluación de diferentes sustratos compuestos por cachaza como elemento principal en la producción de plantas de *Eucalyptus grandis* en contenedores. *Revista Forestal Baracoa* vol. 25 (2), 75-85.
- Castillo, M. I. 2006. Efecto del sustrato en el cultivo de la especie *Eucalyptus grandis* en vivero utilizando tubetes plásticos en el EFI Guanahacabibes. Pinar del Río. Tesis (en opción al Título académico de Master en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 84 p.
- Chavasse, C. G. R. 1980. Planting stock quality: a review of factors affecting performace. *New Zealand Journal of Forestry* 25: 144-171.
- Chirino E., Vilagrosa A., Hernández E.I., Matos A., Vallejo. V.R. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256, 779–785.

- Chirino E., Vilagrosa A., Hernández E.I., Matos A., Vallejo. V.R. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256, 779–785.
- Claudia Bavestrello-Riquelme, Loreto Cavieres, Jorge Gallardo, Antonio Ibacache, Nicolás Franck, Andrés Zurita-Silva. 2013. Evaluación de la tolerancia a estrés por sequía en cuatro genotipos naturalizados de vid (*Vitisvinifera*) provenientes del norte de Chile. *IDESIA (Chile)* Volumen 30, N° 3. 83-92.
- Cobas, L. M. 2001. Caracterización de los atributos de calidad de la planta de *Hibiscus elatus*. Sw. cultivada en tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 100 p.
- Cobas, L. M. 2001. Caracterización de los atributos de calidad de la planta de *Hibiscus elatus*. Sw. cultivada en tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 100 p.
- Cobas, L., M.; Castillo, I.; González, I., E. 2001. Comportamiento de diferentes parámetros morfológicos en la calidad de la planta de *Hibiscus elatus* Sw., cultivada en viveros sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. *Revista Avances* 3(1): 17-21.
- Contardi L. 1999. Medición de plantines. *Patagonia Forestal* V (3): 11-12.
- Del Campo, A. D. 2002. Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 310 pp.
- Deluc, L.G.; Quilici, D.R.; Decendit, A.; Grimplet, J.; Wheatley, M.D.; Schlauch, K.A.; Méridon, J.M.; Cushman, J.C.; Cramer, G.R. 2009. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in

- grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC genomics* 10: 212.
- Dey, D. C. y Parker, W. C. 1997. Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests* 14: 145-156.
- Donoso S, Peña K, Pacheco C, Luna G., Aguirre A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque*, 32(2): 187-195.
- Dreyer, E.; Bousquet, F. y Ducrey, M. 1990. Use of pressure volume curves in water relation analysis on woody shoots: influence of rehydration and comparison of four European oak species. *Annales des Sciences Forestières* 47: 285-297.
- Elliott, K.J.; Vose, J.M. 1995. Evaluation of the competitive environment for white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the southern Appalachians. *Forest Science* 41(3): 513-530.
- Fonteno, W. 1996. Sustratos: tipos y propiedades físicas y químicas. In: Reed, D. ed. *Guía del productor: Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero*. Ball Publishing – Horti – Tecnia Ltda. Colombia. 93-123 p.
- Fuego, M.,E., Pérez, N., Pérez. J., M., Velíz, J., García, I. 2010. Dinámica de crecimiento de plantas de *Eucalyptus Saligna* Smith obtenidas en sustratos de compost de corteza de eucalyptus sp. *Revista Forestal Baracoa*. Vol. 29 (2) p. 19 – 24.
- Fuentes, M.; Oropeza, J. 1996. Evaluación preliminar del comportamiento de algunos materiales orgánicos como sustratos para la siembra de *Eucalyptus urophylla*. Segundo Taller Internacional Biomasa Vegetal. Bioforest, Pinar del Río. Cuba. 23 p.
- Gallardo C. 2003. Materiales comúnmente utilizados en la formulación de sustratos. *In Actas Jornada Técnica: "Introducción al uso de sustratos en la*

- producción comercial de plantines de viveros. EEA INTA, Concordia, Entre Ríos: 5-12.
- Gomes J. M., Couto L. Leite H. G., Xavier A., García S. L. R. 2002. Parámetros morfológicos na avaliação da qualidade de Mudas de *Eucalyptus grandis*. Rev. Arvore 26 (6):655-664.
- Gomes JM. 2001. Parámetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de N-P-K. Tese Doutorado em Ciencia Florestal. Vicoso, Brasil. Universidade Federal de Vicoso. 166 p.
- Guzmán, J. M. 2003. Sustratos y Tecnología de almácigo. *In*: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica.
- Guzmán, J. M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. *In*: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica.
- Haase, D.L. y R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for inter preting plant nutrients hifts in response to silvicultural treatments. For. Sci. 41(1):54-66.
- Handreck, K.A.; N. Black. 1984. Growing media for ornamental plants and turf. Revised ed. New South Wales University Press. Kensington, Australia. NEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía y Cartografía e Informática.
- Heiskanen, J., Rikala, R. 2000. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce, and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. Scandinavian J. Environ. For. Res. 15:49–57.
- Herralde, F. 2000. Estudio integral de las respuestas ecofisiológicas al estrés hídrico: caracterización de variedades de almendro. Tesis Doctoral. Barcelona. Universidad de Barcelona. Facultad de Biología. 140 p.
- Hunt, G. A. 1990. Effect of styroblock design and copper on morphology of conifer seedlings *En*: Rose, R., S. J. Campbell y T. D. Landis (eds.). Proceedings, Western Forest Nursery Association.

- Identificación de mecanismos fisiológicos desarrollados por *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Peumo) ante condiciones de sequía. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 33 p.
- Imo, M., Timmer, V. R. 1997. Vector diagnosis of nutrient dynamics in Mesquite seedlings. *Forest Science* 43(2): 268-273.
- Joly, R. 1985. Techniques for determining seedling water status and their effectiveness in assessing stress. En: Duryea, M. L (Ed): Evaluating seedling quality. Principles, procedures and predictive abilities of major test. Forest Research Lab. Oregon State University. Corvallis.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P. J., Pallady, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, Inc.
- Kramer, P. J. 1974. Relaciones hídricas de Suelos y Plantas. Edutex, S. A. México.
- Kramer, P.J.; Boyer, J.S. Water relations of plants and soils. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- Kubiske M. E. Abrams M.D. 1991. Seasonal, diurnal and rehydration-induced variation of curves pressure-volume relation in *Pseudotsugamenziesii*. *Physiol. Plantarum* 83. p 107-116.
- Landis T, RW Tinus, SE Mc Donald, JP Barnett. 1990. The container tree nursery manual. Handbook 674. Washington, DC. USDA, Forest Service. 85 p.
- Landis T. D 1989. Mineral nutrients and fertilización. En: Landis, T. D., Tinus R. W., Mc Donald, S. E., Barnett, J. P. The container tree nursery manual. Washington, DC: US. Department of Agriculture, Forest Service: Vol. 4 Agric. Handbook 646. 1-67.

- Landis, T. 1997. Monitoring seedling nutrition in bare root and container nurseries. En: Haase, D. L.; Rose, R. (Eds). Forest seedling nutrition from the nursery to the field. Symposium Proceedings. NTC. Oregon State University: pp 69-83.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. En: Duryea, M. (Ed.): Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. Forest Research Lab. Oregon State University. pp 29-48
- Landis, T. D; Tinus, S. E; Barnett, J. P; Nesley, R. G; Rodríguez, T. D. A; Sánchez; V.J. R. y Aldana, B. R. 2000. Manual de vivero para la producción de Especies Forestales en contenedores. Volumen 2 Contenedores y Medios de crecimiento. Handbook 674, 126p.
- Landis, T.; Tinus, S.; Barnett, J.; Nesley, R.; Rodríguez, T.; Sánchez, V.; Aldana, B. 2000. Manual de vivero para la producción de especies forestales en contenedores. Vol. 2. Contenedores y medios de crecimiento. Handbook 674. 126 p.
- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Springer. 3a. ed. Berlin, Alemania. 506 p.
- Lawlor, D.W.; Cornic, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment, v.25, p.275-294, 2002. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x.
- Lenz, T. Wright, I., Westoby, M. 2006. Interrelations among pressure–volume curve traits across species and water availability gradients. Physiologia Plantarum. 127: 423–433.
- León, L. E. 2010. Efecto del sustrato y el manejo del riego en la fase de vivero de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell en contenedores. Alicante. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas. 100 p.

- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. II. Water, radiation, salts and other stresses. 2nd Ed. Acad. Press. New York, USA. 606 pp.
- López L., M.A. y E. Estañol B. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana* 25(1):9-15.
- López, L., M., A y Alvarado, L.J. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16 (1),99-108.
- López, L., M., A. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16 (1),99-108.
- López-López, M.A., R.M. Reich, C. Aguirre- Bravo y A. Velázquez-Martínez. 2009. Pine growth and nutrient status as related to pine/alder ratio in mixed stands. *J. Biol. Sci.* 9(7):637-647.
- Margolis, M. A. Brand, D. G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20:375-390.
- Maronek, D. M.; Studebaker, D.; Oberly, B. 1986. Improving media aeration in liner and container production. *Internacional Plant Propagators Society Combined Proceeding* 35:591-597.
- Mastalerz, J. W. 1997. *The greenhouse environment*. New York: John Wiley and Sons. 629 p.
- Mateo-Sánchez J. J.; Bonifacio-Vázquez R.; Pérez-Ríos S. R.; Mohedano-Caballero L. y Capulín-Grande J. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustratos a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, Mexico. *Ra Ximhai* Vol. 7 Numero1.

- Mattsson, A. 1997: Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13:227-252
- McKay, H.M. 1997. A review of effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. *New Forests*, 13: 369-399.
- McTague, J.P.; Tinus, R.W. 1996. The effects of seedling quality and forest site weather on field survival of ponderosa pine. *Tree planters' notes* 47: 16-23.
- Mengel, K. y A.E. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a. ed. por R. J. Melgar y M. Ruiz. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza.
- Mexal JG.; Landis TD. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In* Target seedling symposium: proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Roseburg, Oregon. USDA, Forest Service. 286 p.
- Mexal, J. P. and Landis, T. D. 1990. Target seedling concepts. Height and diameter. Target Seedling. Symposium Gen. Rep. USDA Forest Service. 17-35 p.
- Milburn, J. A. 1979. Water flow in plants. Longman. London. 225 pp
- MINAGRI. 1984. Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. 73 p.
- Montoya, J. M.; Cámara, M. A. (1996) La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi-Prensa. España. 126 p.
- Moreno Ch., L.R., M.A. L. López, E. B. Estañol y A. M. Velázquez. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. Et Cham. en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques* 8(1):51-60.
- Navarro Cerrillo, R. M. y Calvo, J. (2002). Efecto de la fertilización de crecimiento con N sobre la arquitectura y el contenido de almidón en la raíz de brinzales

- de *Pinus halepensis* Mill.; *Pinus pinaster* Aiton.; *Pinus pinea* L. SCIENTIA gerundensis 26: 5-21.
- Navarro, R. M.; Palacios, G. 2004. Efecto de la calidad de planta, el rocedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 17: 199-204.
- Navarro, R. M.; Palacios, G. 2004. Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 17: 199-204.
- Navarro, R. M.; Retamosa, M. J.; Lopez, J.; del Campo, A. y Salmoral, L. 2006. Nursery practices and field performance for the endangered editerranean species *Abies pinsapo* Boiss. Ecological Engineering (en prensa).
- NC-XX 2009. Norma Cubana. Humus de lombriz. Determinación de pH, Conductividad eléctrica, cloruro y sodio solubles.
- Noguera, P., Abad M. R., Puchades, Maquieira A. and Noguera V. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as a container medium. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 34:593-60.
- Oliet, J. A. 1995. Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. ETSIAM.
- Oliet, J. A. 2000. La calidad de la planta forestal en vivero. Ed. ETSIAM. Córdoba. España. 93 p.
- Oliet, j.; Segura, M. L.; Martín, F; Blanco, E.; Serrada, R.; López, A. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de las plantas forestal en el vivero forestal. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Re-vista INIA. Sistemas y Recursos Forestales 8.

- Pardos, M. y Pardos, J. 2000. Efecto del agua disponible en plantas de Alcornoque (*Quercus suber* L.) cultivadas en vivero. En: V Simposium hispano-portugués de relaciones hídricas en las plantas. Libro de comunicaciones. Alcalá de Henares, Madrid, 2 – 4 Octubre 2000. Pp: 173-176.
- Parviainen, J. V. 1981. Qualidade e avaliacao da qualidade de mudas florestais In: Seminario de sementes e viveiros florestais, 1 Curitiba: FUPEF, 59-90 p.
- Pastor, J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17(3):231-235
- Peña-Rojas K, X Aranda, I Fleck. 2004. Stomatal limitation to CO₂ assimilation and down-regulation of photosynthesis in *Quercus ilex* resprouts in response to slowly imposed drought. *Tree Physiology* 24: 813–822.
- Peñuelas, J. L y L. Ocaña. 1996. Cultivo de once especies mediterráneas en vivero: implicaciones prácticas. *Revista Ecología* 15: 213-223.
- Peñuelas, J. L. R. 1999. El manejo del agua y de los factores ambientales en los cultivos. Centro de Mejora Forestal “El Serranillo”. Ministerio de Medio Ambiente 13 p.
- Peñuelas, J.; Ocaña, L. 1991. La calidad de la planta forestal. Jornada sobre la situación actual y técnicas modernas para la producción de posturas. Madrid. 50 p.
- Peñuelas, J.; Ocaña, L. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Madrid V. A. Impresora. 190 p.
- Pérez N., Fuego, M.,E., J., M., Velíz, J., Castillo I., Orea U. Velíz, J. 2010. Valoración de atributos fisiológicos en plántulas de *Eucalytus saligna* Smith, desarrolladas en sustratos elaborados con compost de corteza de *Eucalytus* sp. *Revista Forestal Baracoa*. Vol. 29 (Especial).
- Pérez, L. M.; Vargas, C. N. 1995. Estudio sobre la utilización de diferentes sustratos orgánicos en viveros para vitroplantas de plátano. Trabajo de Diploma. Universidad de Pinar del Río 68 p.

- Phillips C. 1994. Nutrient deficiencies. Forest health 29. Forestry SA: Government of South Australia.
- Puttonen, P. 1997. Looking for the "silver bullet"- can one test do it all? New Forests 13:9-27.
- 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.
- Ritchie, G. 1985. Root growth potencial: principles, procedures and predictive ability. En: Duryea, M. L (Ed.): Evaluating seedling quality. Principles, procedures and predictive abilities of major test. Forest Research Lab. Oregon State University. Corvallis.
- Robichaux, R.H. 1984. Variation in the tissue water relations of two sympatric Hawaiian *Dubautia* species and their natural hybrid. *Oecologia* 65: 75-81.
- Romero, A. E.; Ryder, J.; Fisher, J. T. y Mexal, J. G. (1986). Root system modification of container stock for arid land plantation. *Forest Ecology and Management* 16: 281-290.
- Rook, D. A. 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. En: van den Driessche, R. (Ed.): Mineral nutrition in conifer seedlings. CRC Press. Pp 86-112.
- Ruiz J., 1999, Potencial hídrico y curva presión volumen en Chachafruto *Erythrina edulis*. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 60 p.
- Ruiz Viana, P., Domínguez, S. 1997. Estudio sobre factores influyentes en un ensayo de fertilización de planta de *Pinus pinea* L.: potencial de regeneración de raíces, concentración de nutrientes y tamaño de planta. E.U.I.T.F. Madrid. Inédito.
- Salifu, K.F. y V.R. Timmer. 2001. Nitrogen retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(1):905-913.

- Salleo, S. y Lo Gullo, M. 1990. Sclerophylly and plant water relations in three mediterranean *Quercus* species. *Annals of Botany* 65: 259-270.
- Santiago, T., O. 2002. Evaluación del crecimiento en vivero de plántulas de cinco especies de coníferas producidas en tres mezclas de sustratos y tres tamaños de contenedor. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241 p.
- Scagel, R.; Bowden, R.; Madill, M. y Kooistra, C. (1993). Provincial seedling stock type selection and ordering guidelines. British Columbia. Min. of Forests. SD404.P76. 76 pp.
- Scheneider, W.G.; Knowe, S.A.; Harrington, T.B. 1998. Predicting survival of planted douglas-fir and ponderosa pine on dry, low-elevation sites in south western Oregon. *New Forests*, 15: 139-159.
- Scholander, P. F.; Hemmingsen, E.; Garey, W. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- Serrada Hierro, R. 1993. Apuntes de repoblaciones forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM, Madrid. 398 pp.
- Serrada, R. 1995. Apuntes de repoblaciones forestales. Editorial Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. España. 210 p.
- Serrada, R. 1995. Apuntes de Repoblados Forestales. Escuela Universitaria de Ingeniería técnica Forestal. Editorial Conde de Valle Salazar. España. 379 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.
- South, D.B.; Rose, R.W.; McNabb, K.L. 2001. Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New Forests* 22: 43-58.

- Sumner, M.E. 1977a. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(2):148-167.
- Sumner, M.E. 1977b. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(3):251-267.
- Szabados, L.; Savouré, A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, v.15, p.89-97, 2010. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
- Taiz, L. Zeiger, E. 2006. *Fisiología vegetal, Volumen II*, Universidad de California en Los Ángeles. U.S.A. p. 1130.
- Tesch, S.D.; Korpela, E.J.; Hobbs, S.D. 1993. Effects of sclerophyllous shrub competition on root and shoot development and biomass partitioning of Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1415-1426.
- Thompson B. E. 1984. Seedling morphological evaluation – What you can tell by looking. En: Duryea, M. I. (Ed.). *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*, pp. 59-72. Workshop Oct. 16-18, 1984, Forest Research Laboratory, Oregon State Univ.
- Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test*. M.L. Duryea eds. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-69 p.
- Thompson, S. 1985. Root morphological evaluation. *Evaluating seedling quality, principles, procedure and predictive abilities mayor test*. M. L Duryea Eds. Forest Research Laboratory Oregon State University. 59-64 p.
- Timmer, V. and Armstrong, G 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (51): 1082-1086.

- Timmer, V. R. 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimens of biomass nutrients and Water relations of container grown red seedlings New Forest 5 (4): 335-348.
- Timmer, V.R. y E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam firfertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 42:125-130.
- Toral, I.M. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo forestal integral de Jalisco. SEDER., Fundación Chile, Consejo Agropecuario de Jalisco. México. 28 p.
- Turner, N. 1986. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science 9: 289-308.
- Turner, N. 1988. Measurement of plant water status by the pressure hamber technique. Irrigation Science 9: 289-308.
- Tyree M. T., Hammel H. T., 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Exp. Bot. 23, 267-282.
- Tyree M. T., Hammel H. T., 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Exp. Bot. 23, 267-282.
- Vence, L. B. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. Facultad de Agronomía –Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Jardinería. Laboratorio de sustratos.
- Villar-Salvador, P. 2003. Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de re vegetación. En: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Rey-Benayas, J. M., Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J. M. (Eds.), Universidad de Alcalá/Asociación Española de Ecología Terrestre, pp. 65-86.

Warncke, D. D.; Krauskopf, D. M. 1983. Greenhouse growth media: testing & nutrition guidelines. Cooperative Extension Service. Extension Bulletin E-1736. Michigan State University. 6 p.

Wincler, M. V; Valdir, M; Rodríguez, L; Hamilton, L; Da Silva, L. 2000 Crecimiento de posturas de *Eucalyptus saligna* Smith em fuçao de doce de vermicomposto. Fudaçao de Pesquisas Florestais do Paraná. 28 (1, 2).

Zumkeller S. D., Galbiattib J.A., de Paula R. C., Gonzales J. L. 2009. Producción de plantas de *Tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero. Bosque 30(1): 27-35

Anexo 1 Características de las semillas

CERTIFICADO DE CALIDAD

Estación Experimental de Vinuesa
Identificación de lote 23-10
Nombre Científico Helicon Helicon
Nombre vulgar magajón
Fecha de entrega 6-1-12 Fecha de Terminación 6-2-12
Duración 30 días No. de muestras sometidas a análisis 1
Fecha de Encuentro 10-1-12 Análisis No.
Peso: 5 Kg.

Resultados del Análisis

Parámetro Analizado	Resultado
Porcentaje de Germinación	<u>32.75</u>
Semillas por Kg.	<u>1500</u>
Porcentaje de Pureza	<u>91.50</u>
Semillas Sanas (%)	<u>78.10</u>
Semillas Vanas (%)	<u>6.50</u>
Semillas Enfermas (%)	<u>1.10</u>
Semillas Sanas (Corte Final) %	-
Plantas Probables por Kg	-
% de Pérdidas	-
Semillas por Plantas	-

Tratamiento Pregerminativo Aplicado: no requiere

Observaciones: - 4 semillas/bolsas.

Certificamos que los datos anteriores son rigurosamente exactos de acuerdo a las Normas Nacionales vigentes.

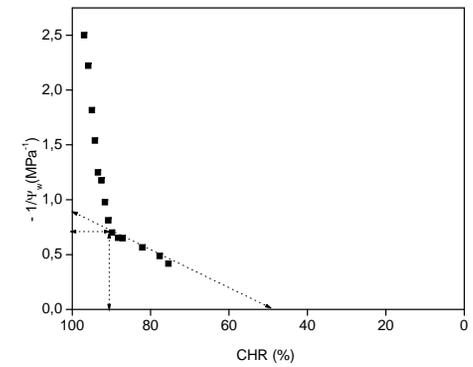
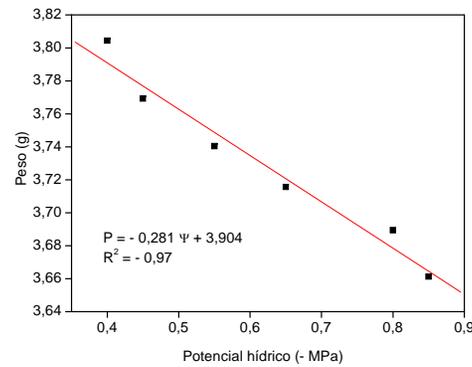
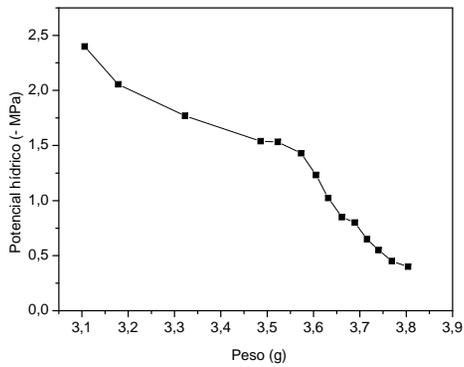
Analista de Semillas
Estación Experimental

Jefe de la Estación Experimental

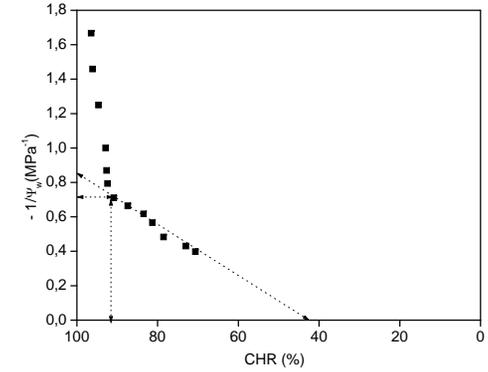
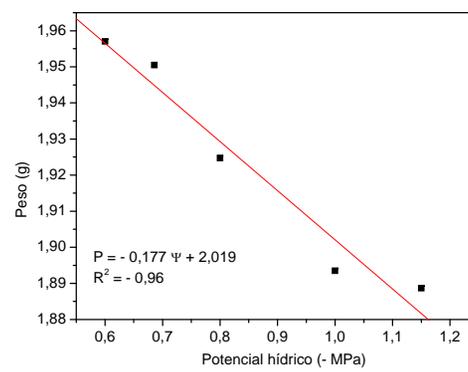
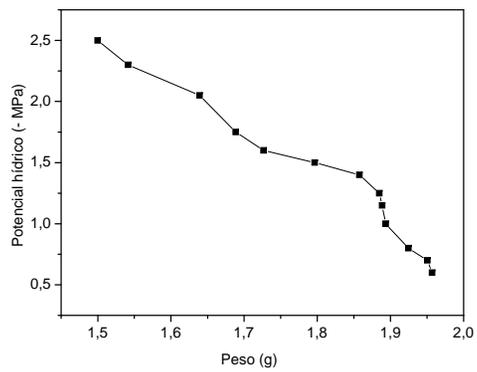
Ing. Félix Arturo Pérez
Félix
(C. e. fel al cargo)

Anexo 2. Comportamiento de los datos obtenidos para la construcción de las curvas presión-volumen (CPV), a partir de las pesadas y medidas de potencial hídrico.

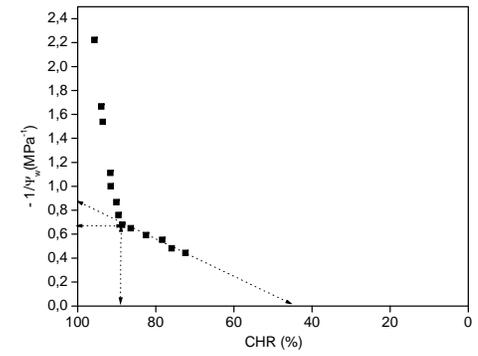
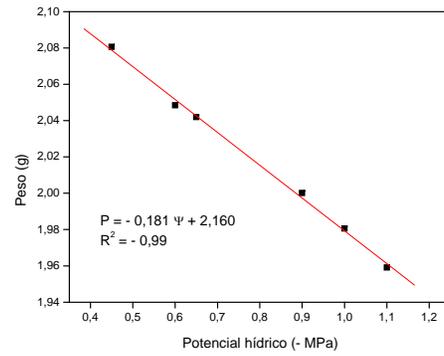
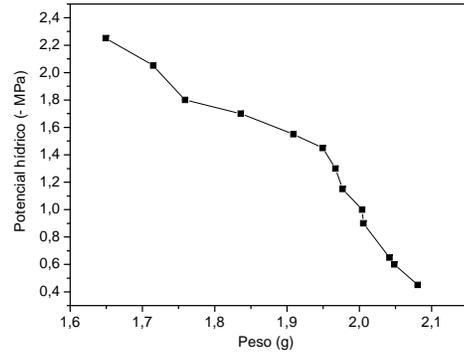
BC1



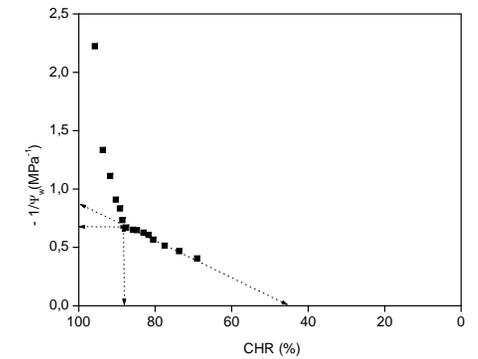
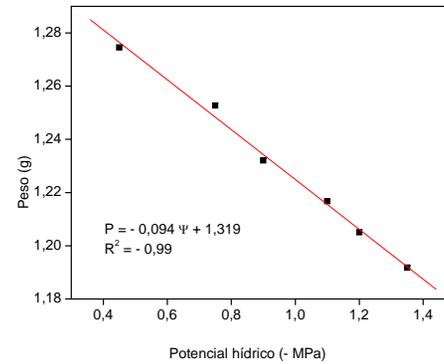
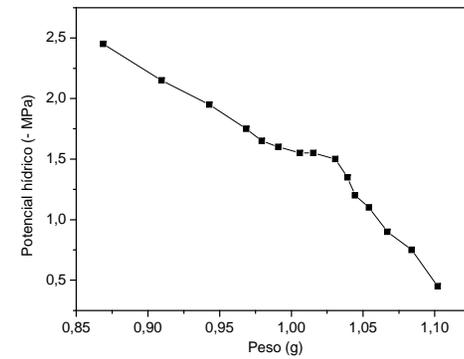
BC2



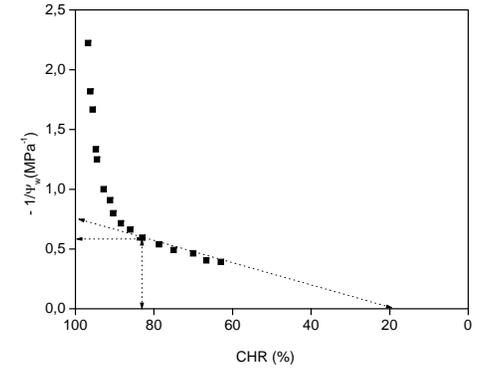
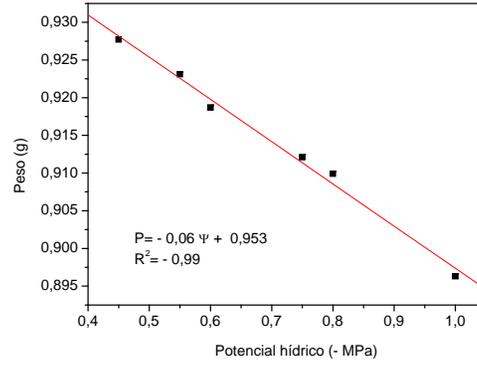
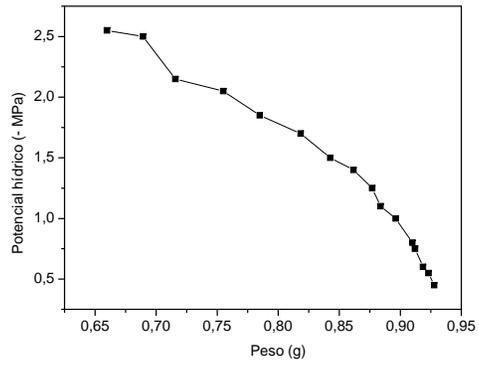
BC3



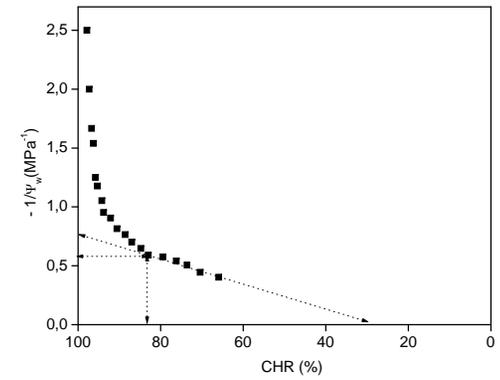
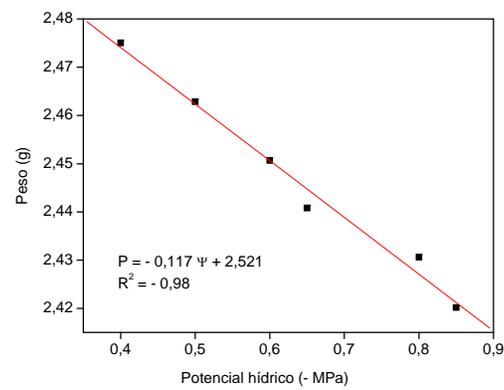
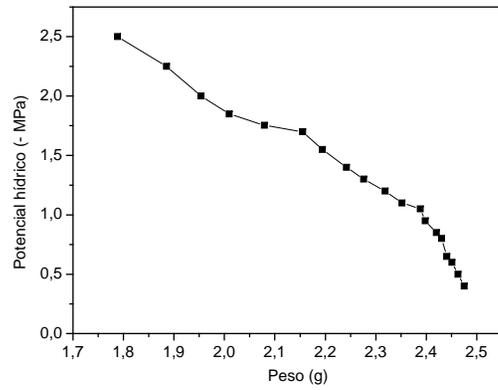
BC4



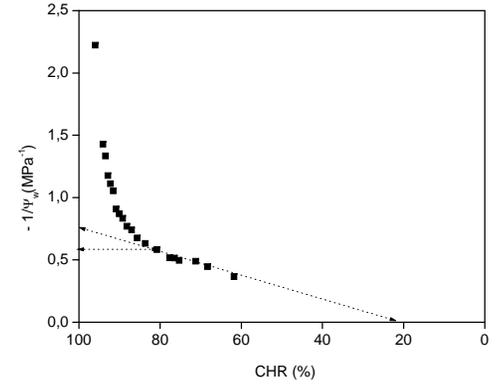
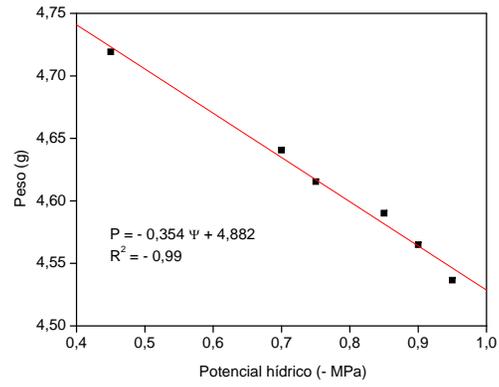
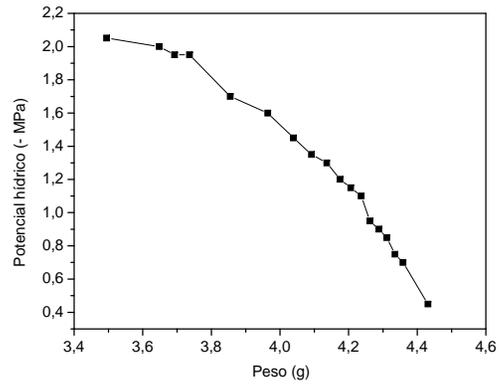
T1



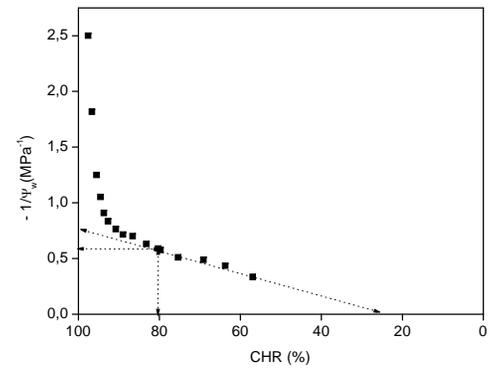
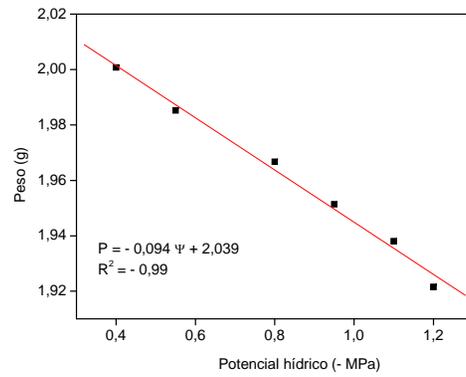
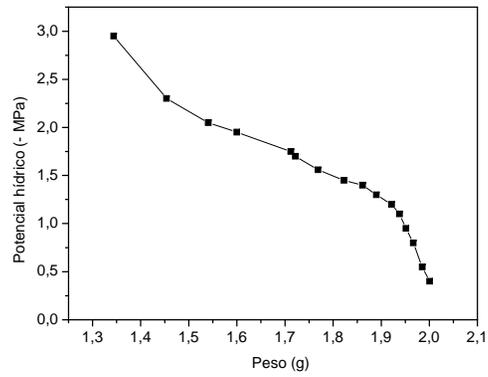
T2



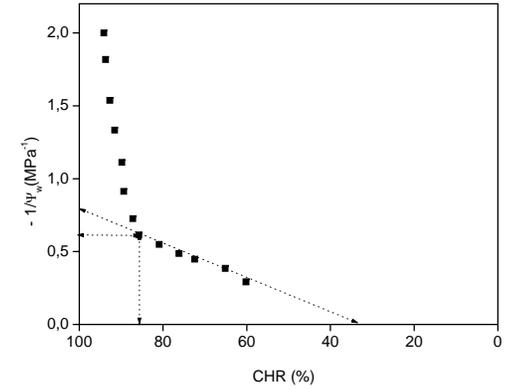
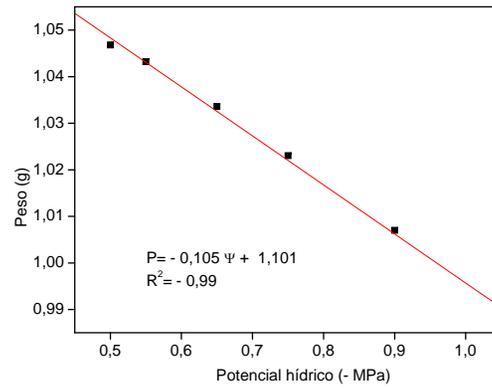
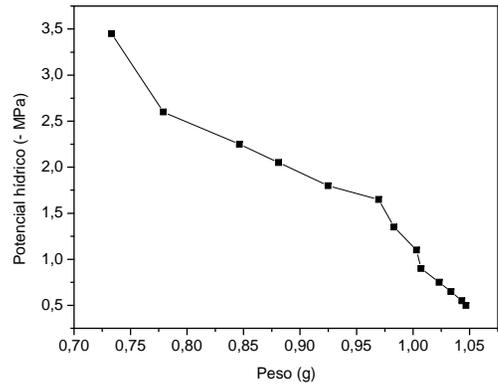
T3



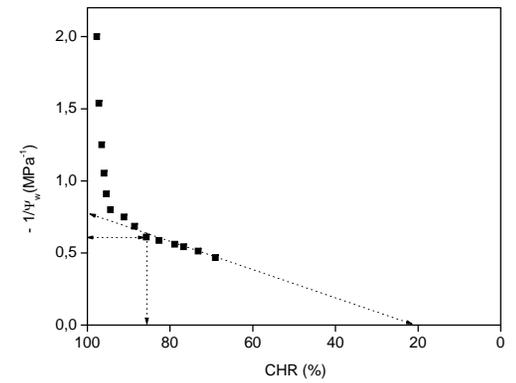
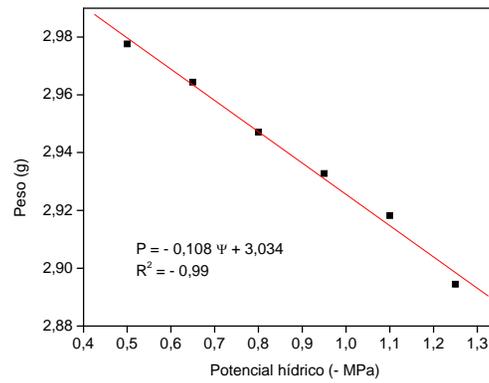
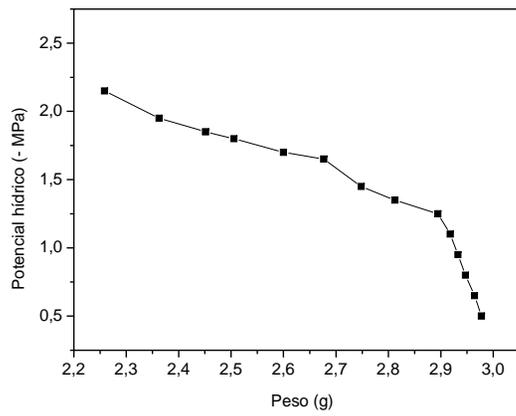
T4



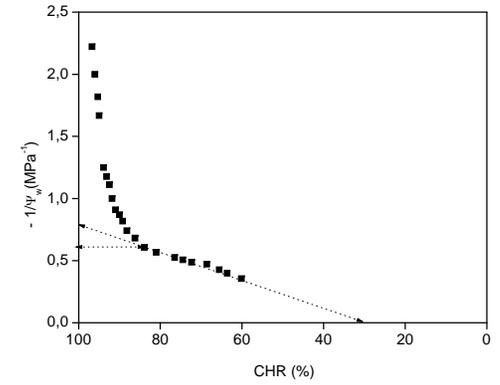
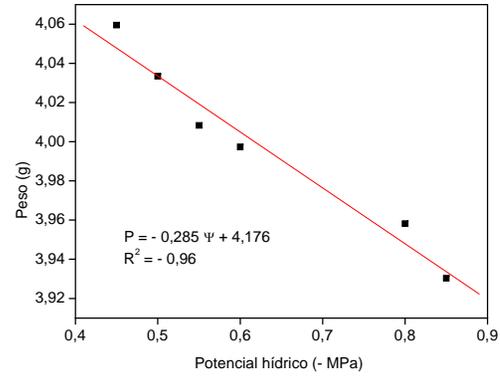
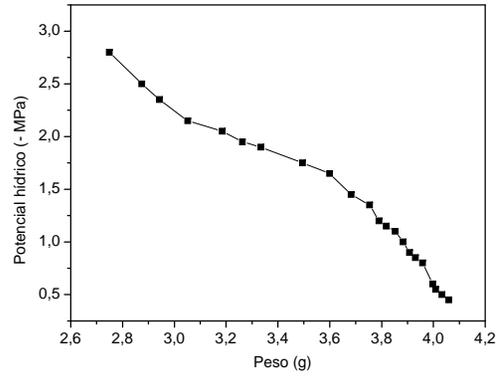
C1



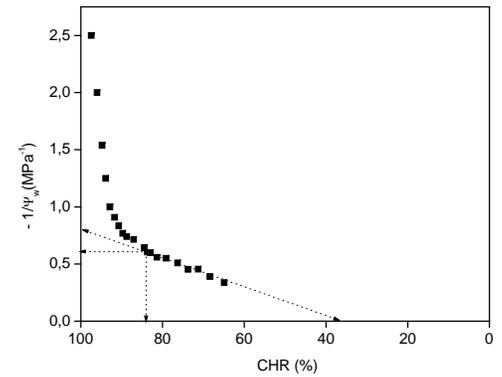
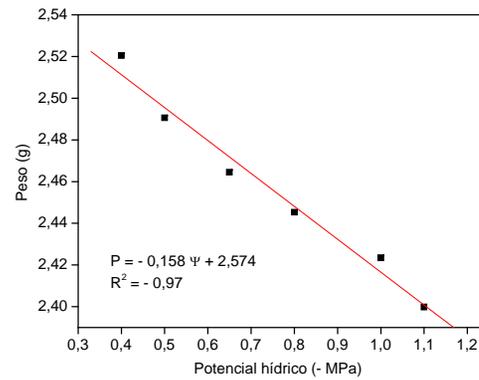
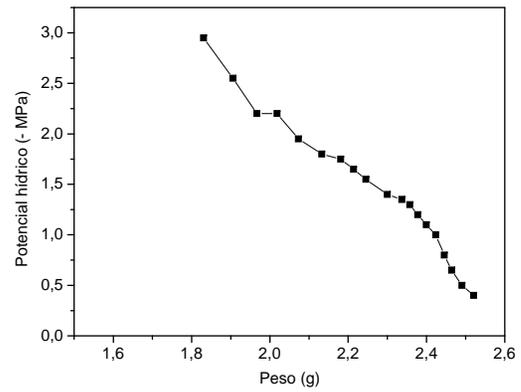
C2



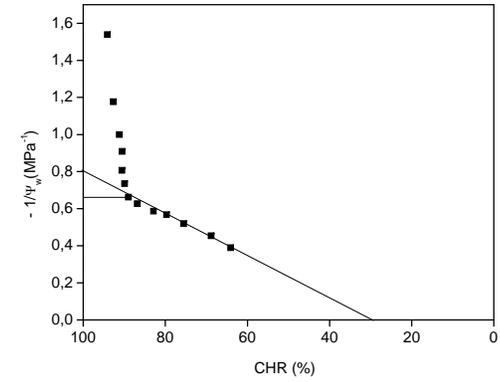
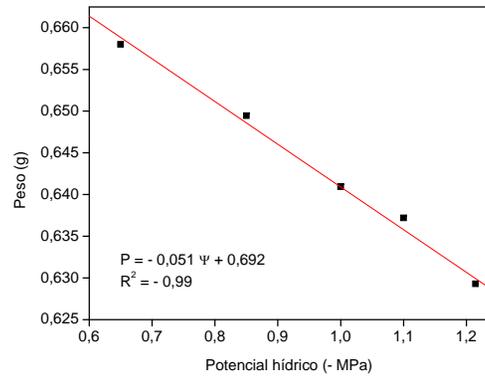
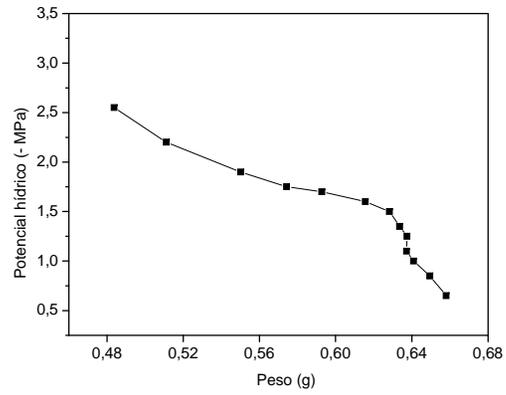
C3



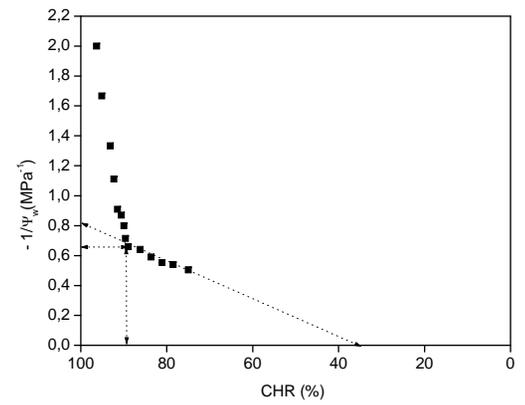
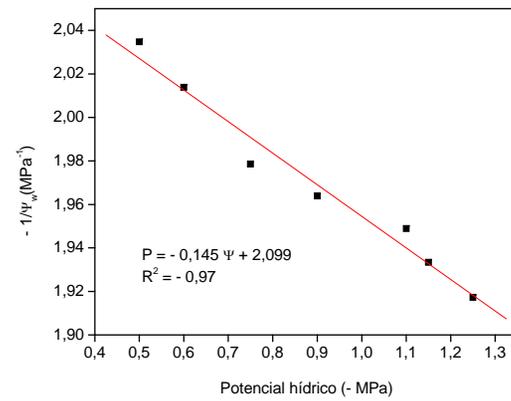
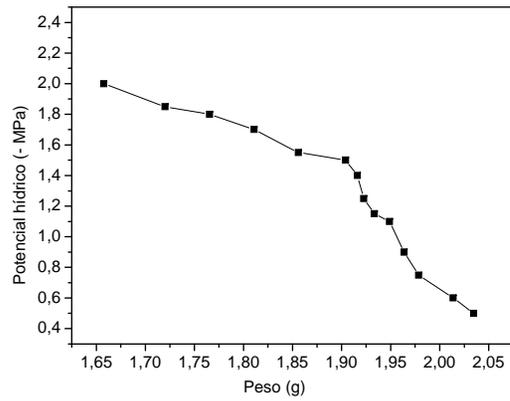
C4



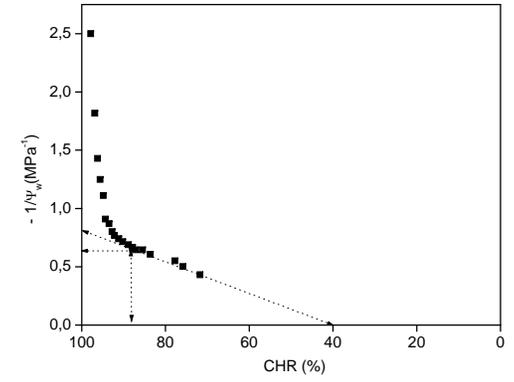
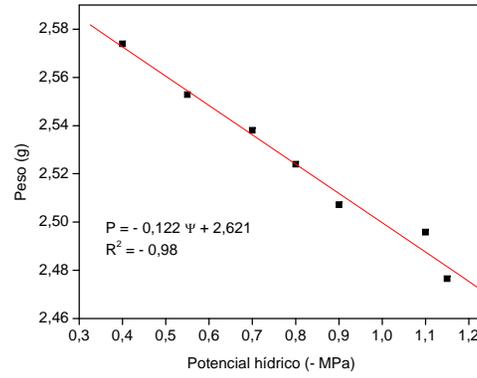
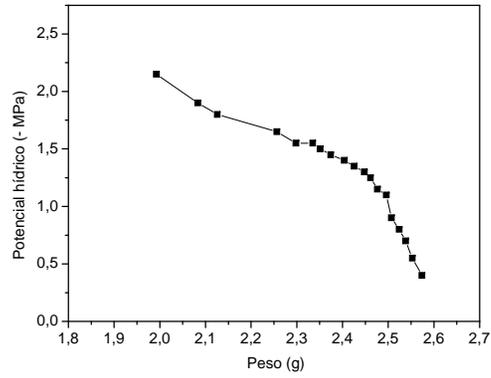
C201



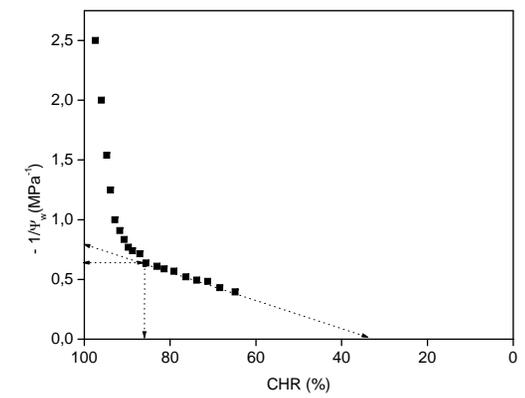
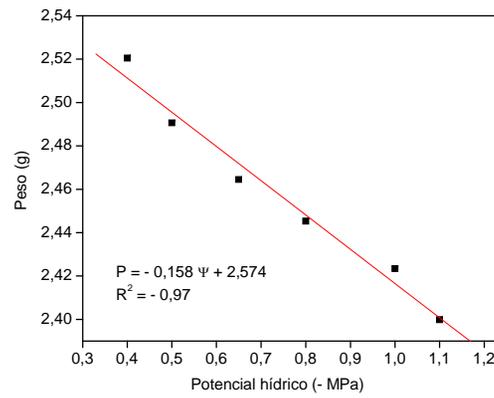
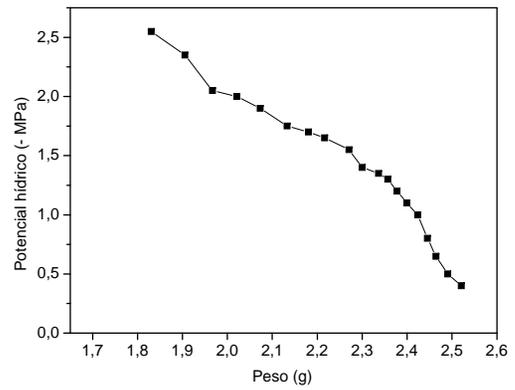
C202



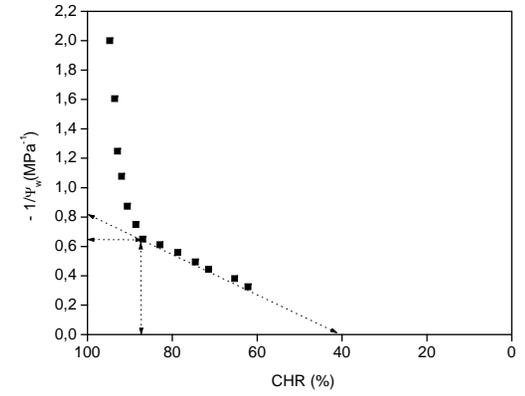
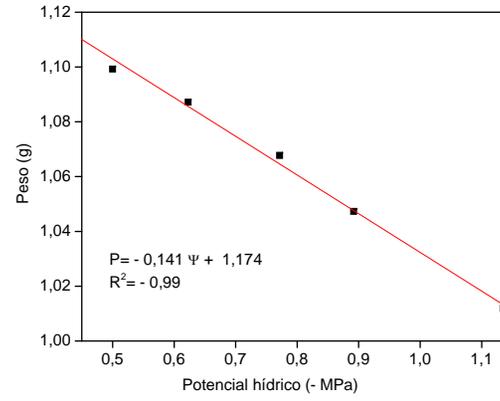
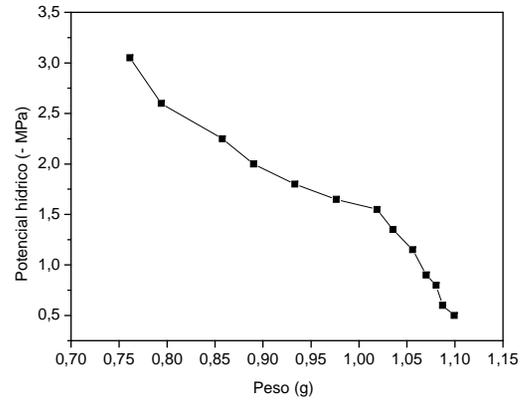
C203



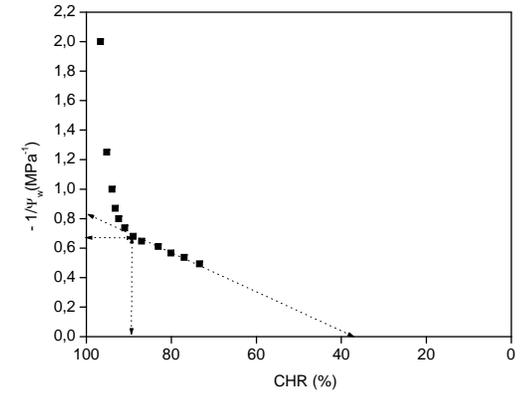
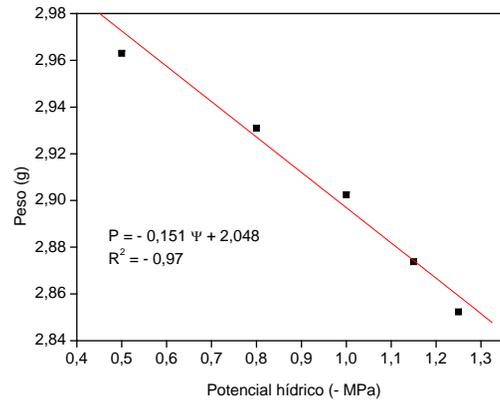
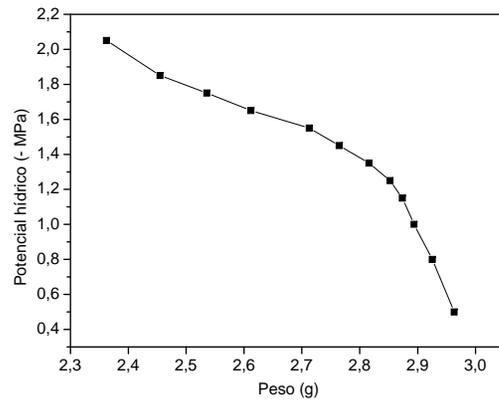
C204



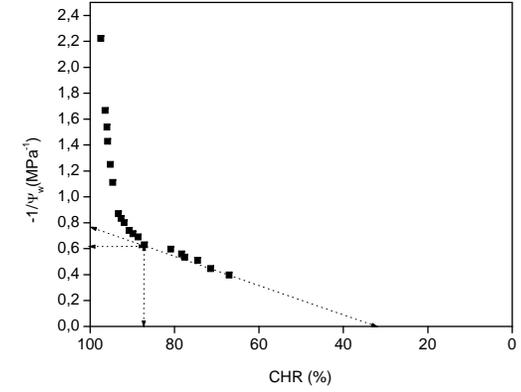
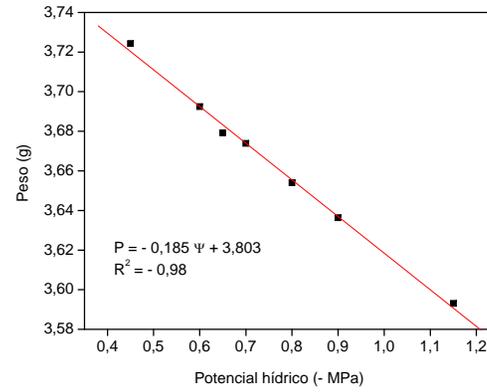
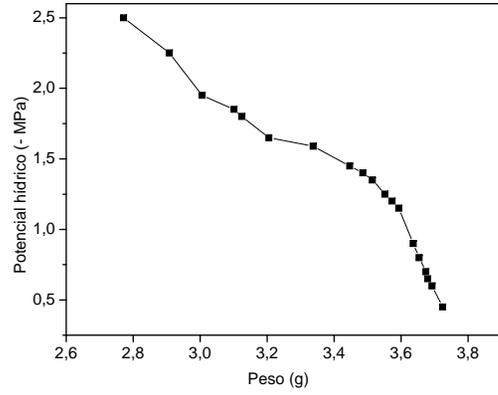
C501



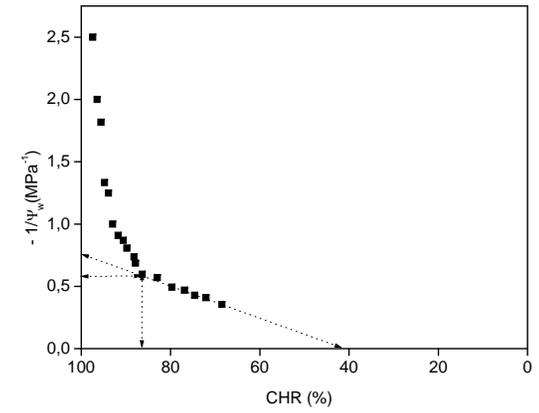
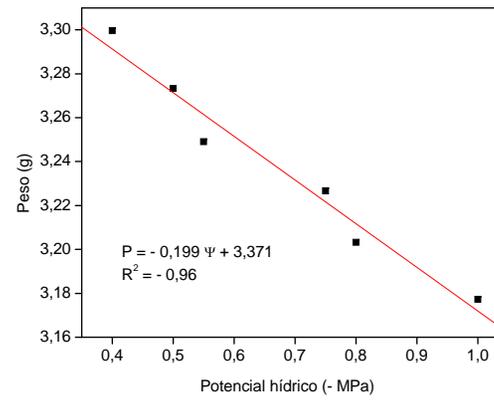
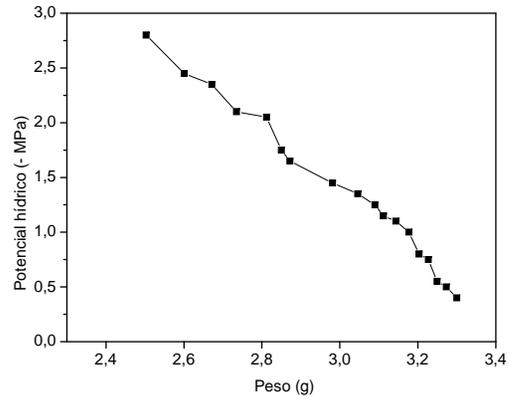
C502



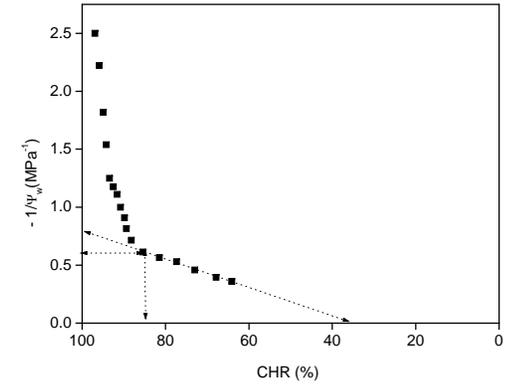
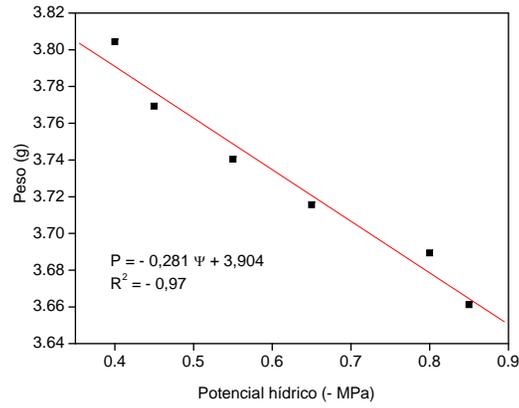
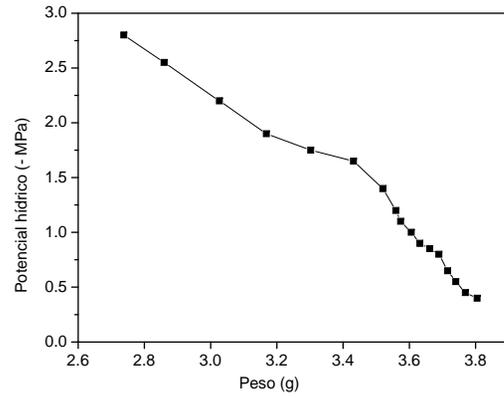
C503



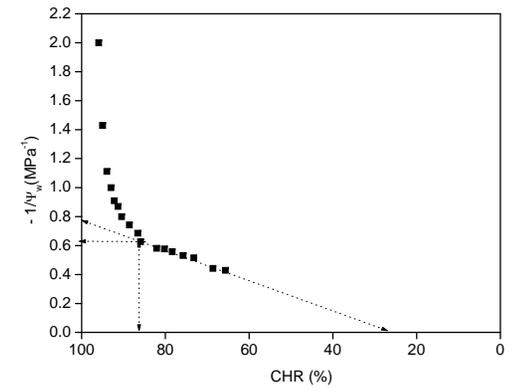
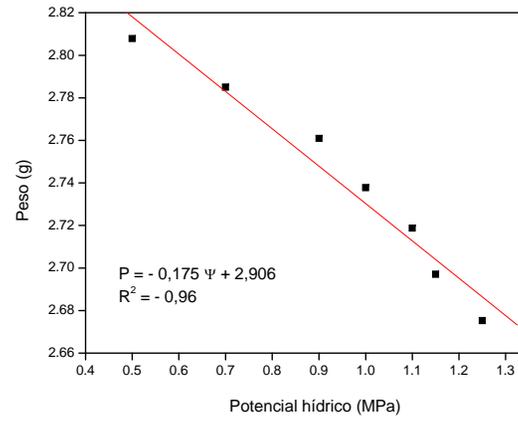
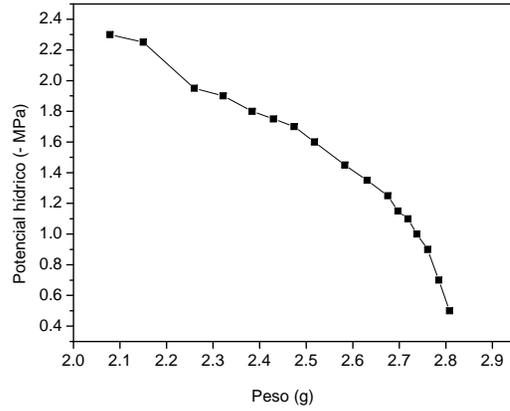
C504



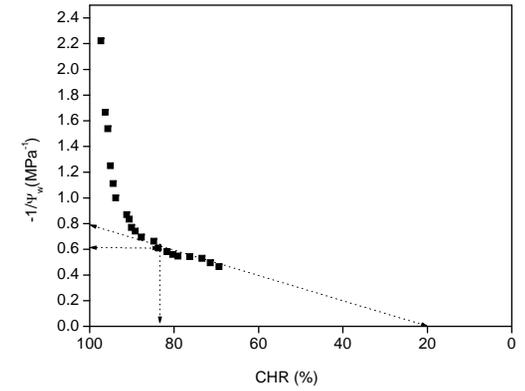
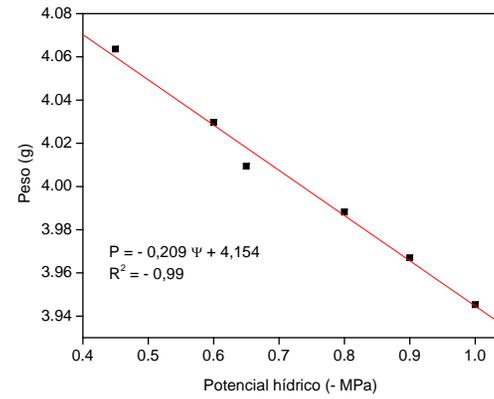
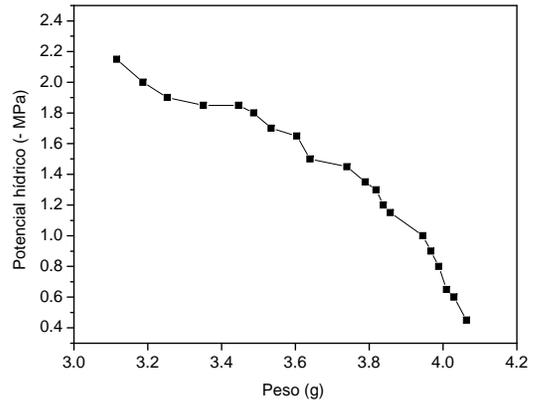
C801



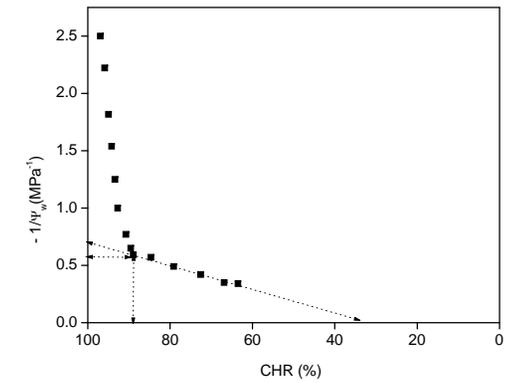
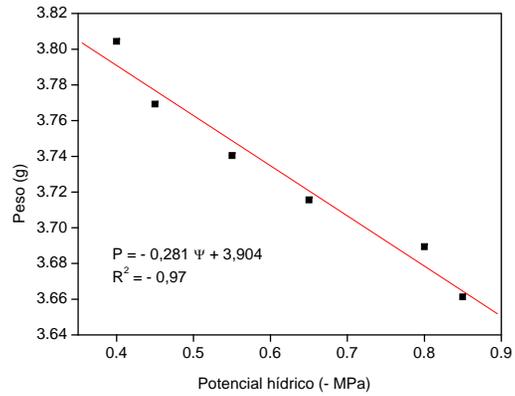
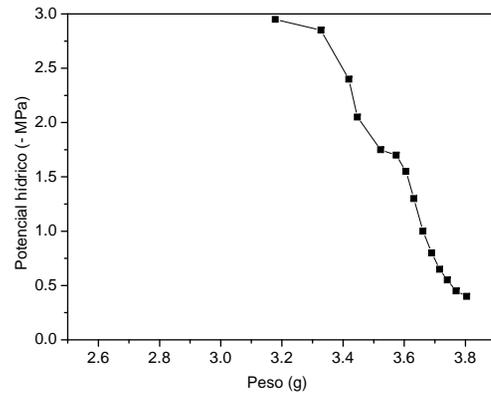
C802



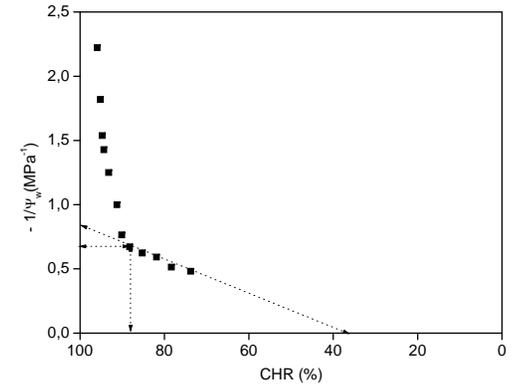
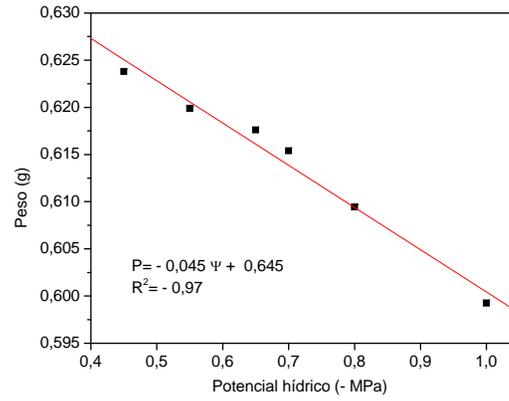
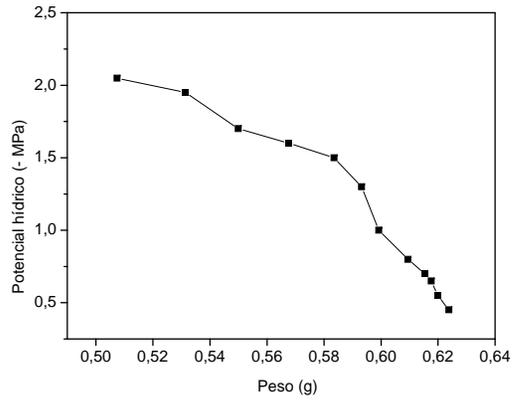
C803



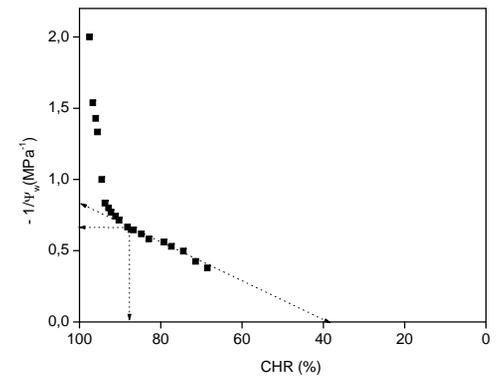
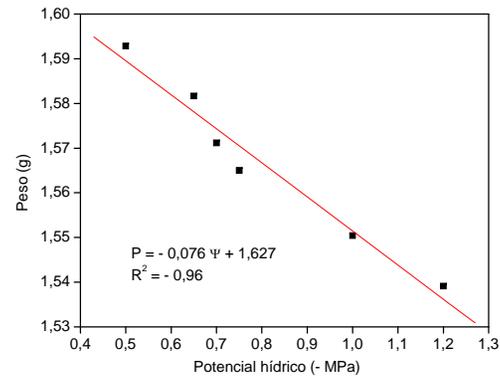
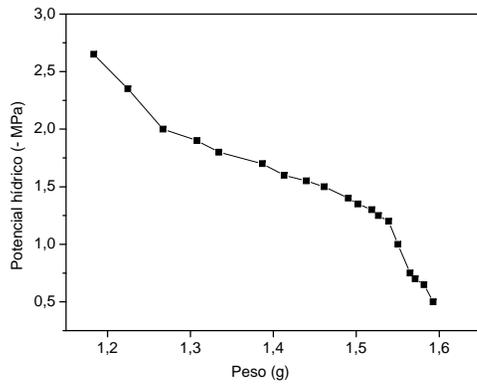
C804



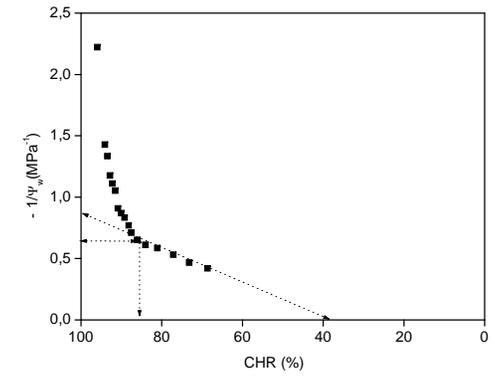
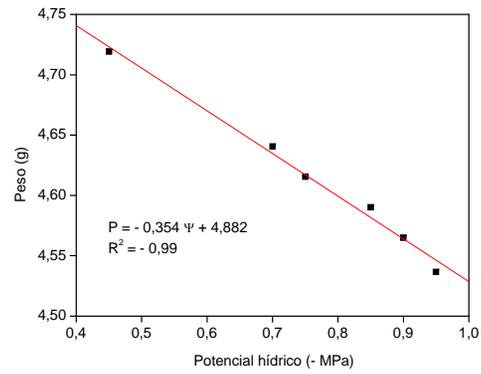
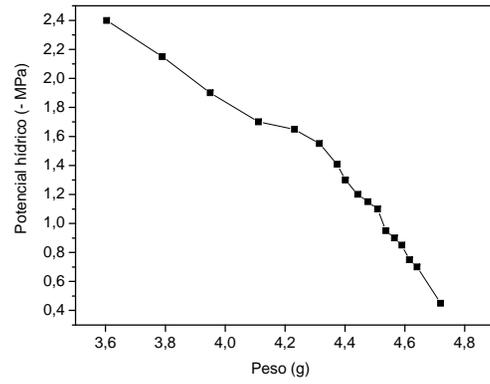
T201



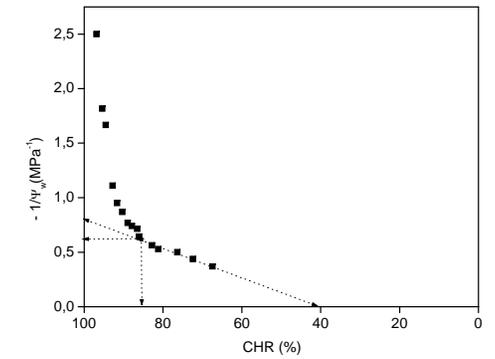
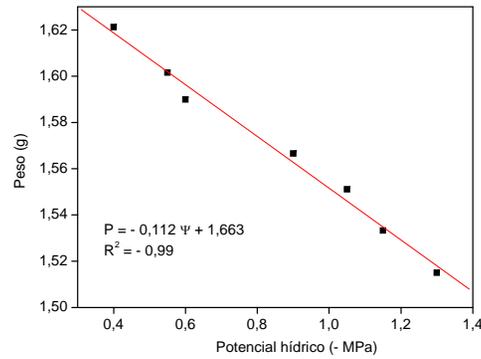
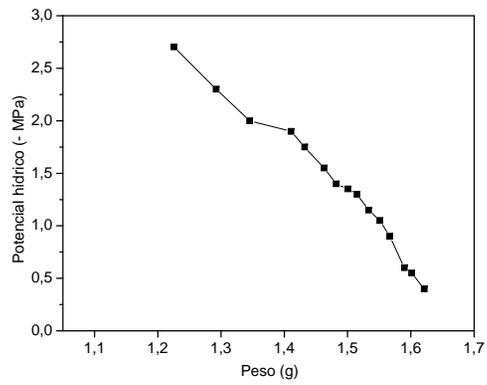
T202



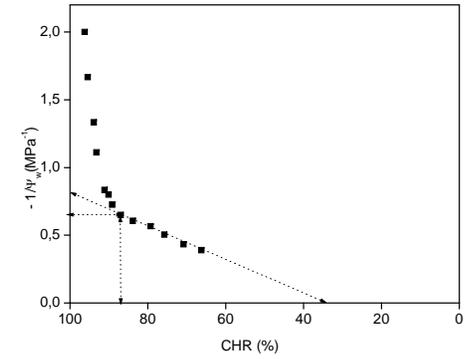
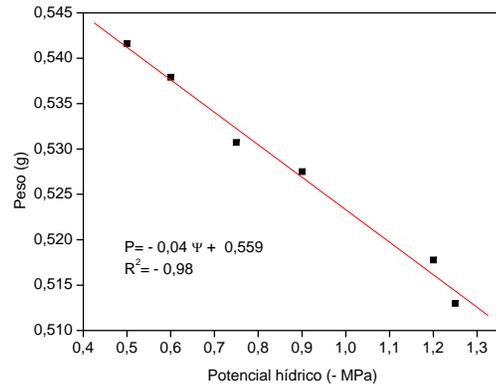
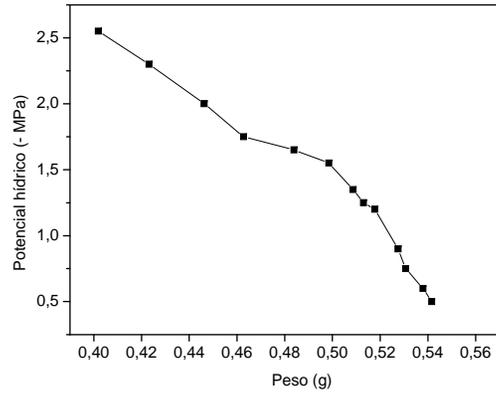
T203



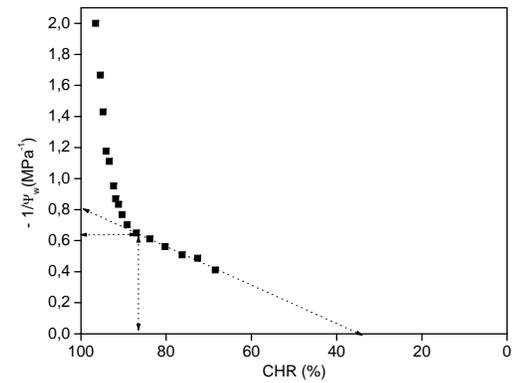
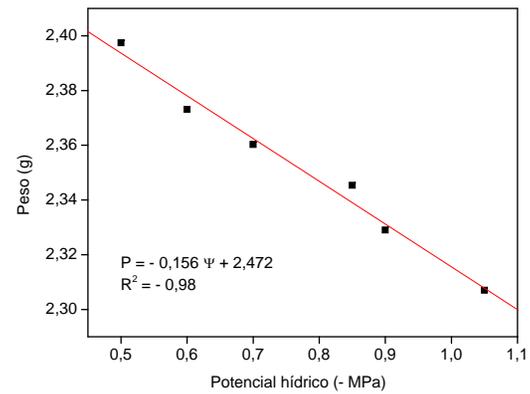
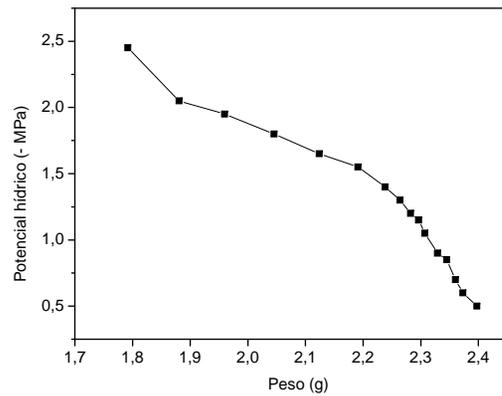
T204



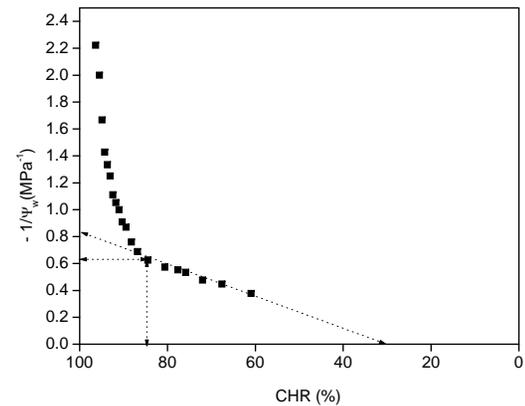
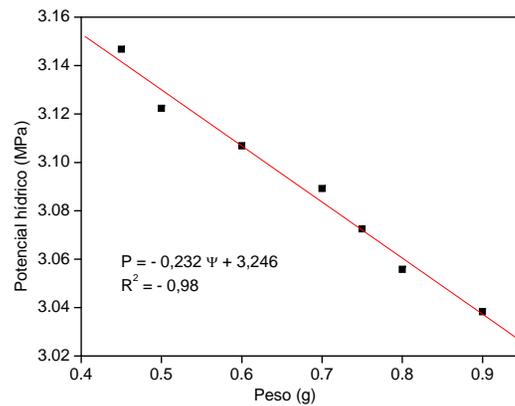
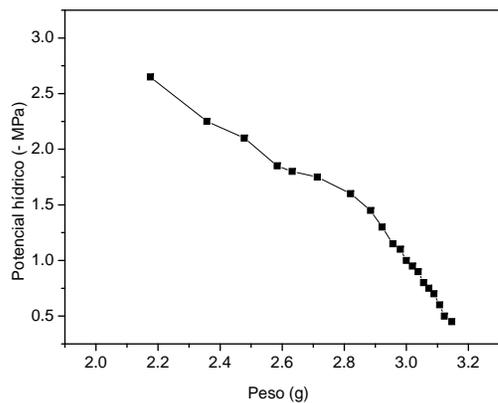
T501



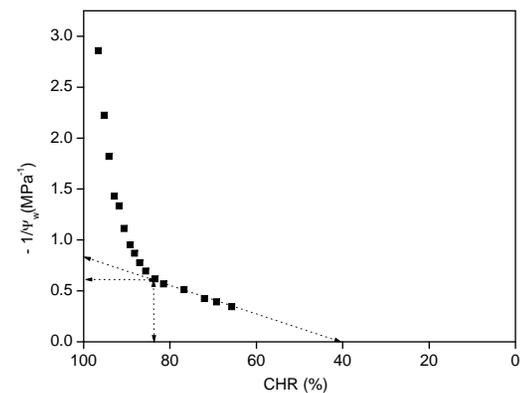
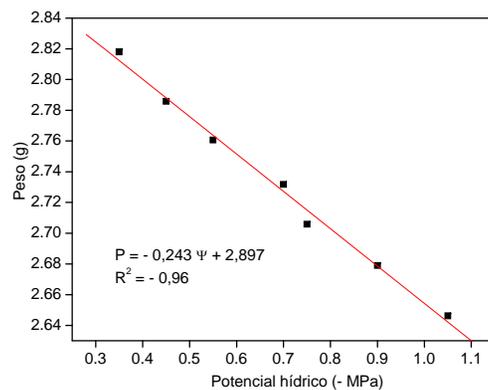
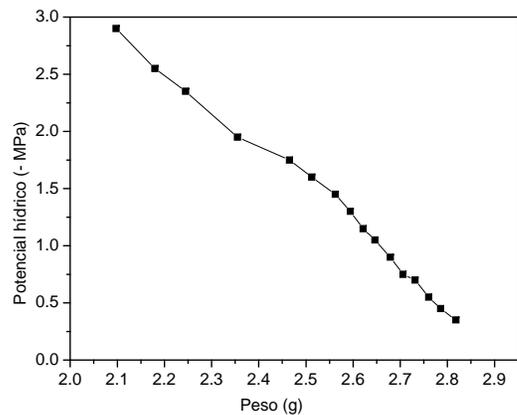
T502



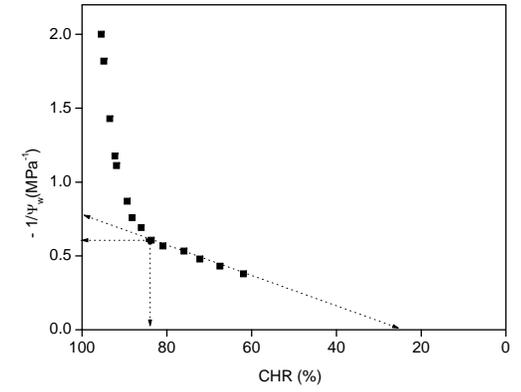
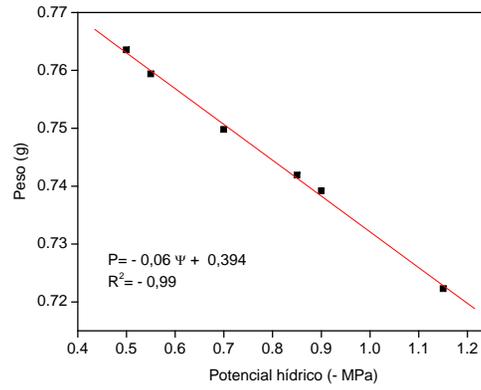
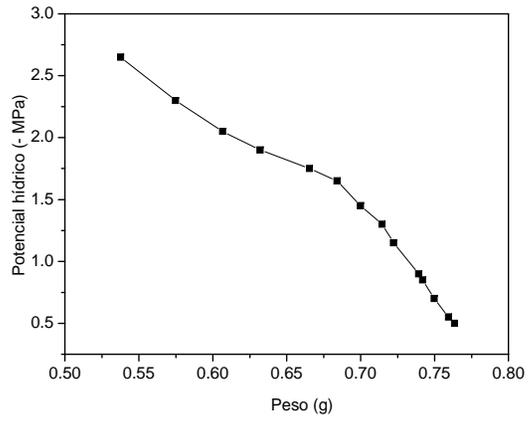
T503



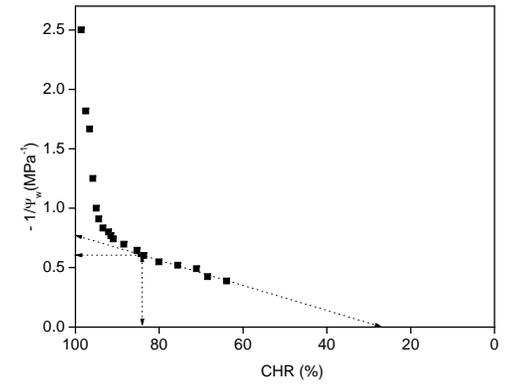
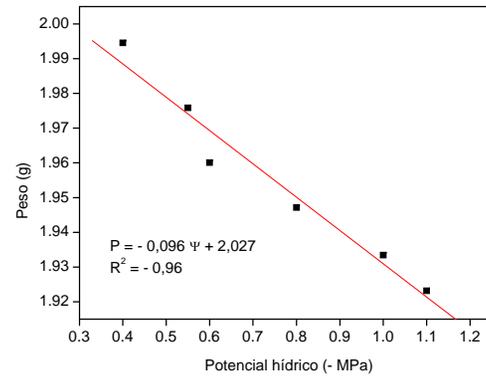
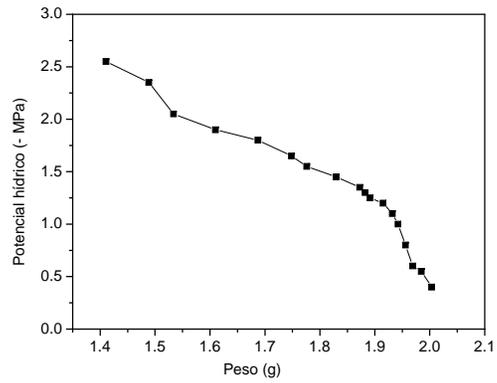
T504



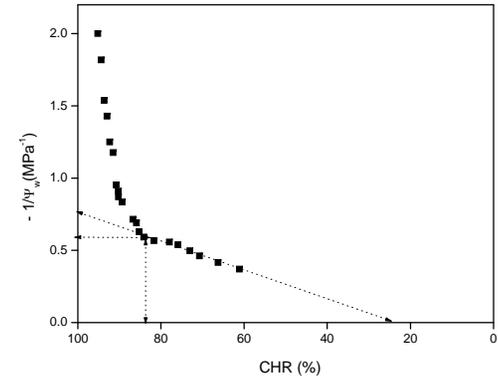
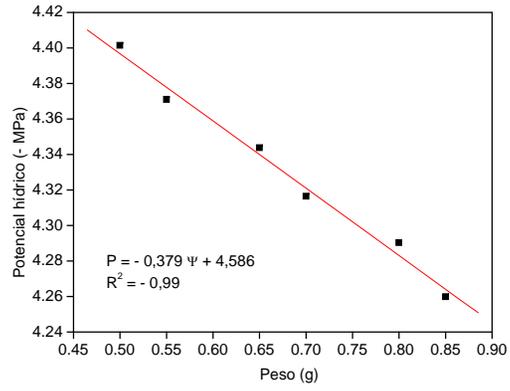
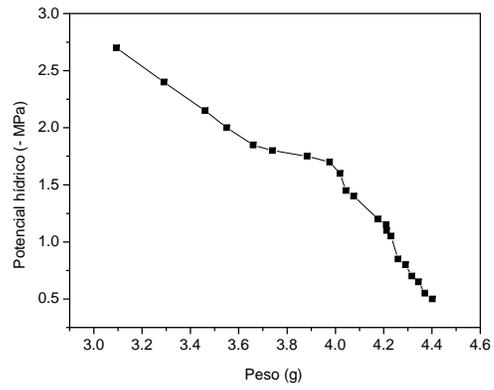
T801



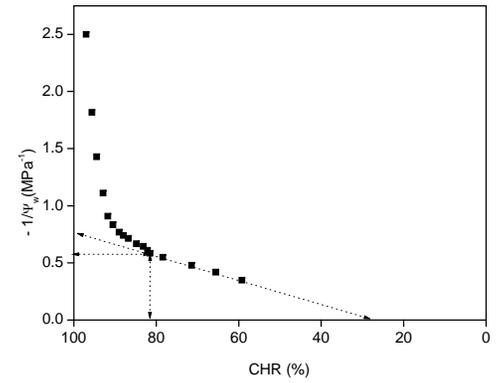
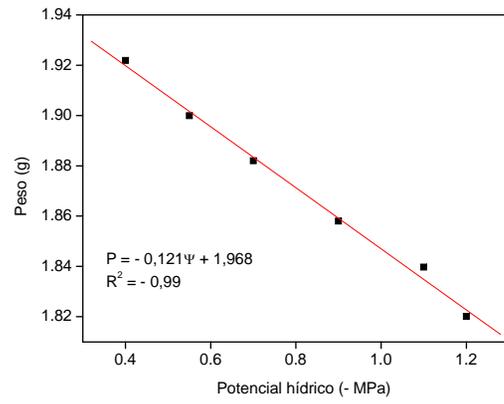
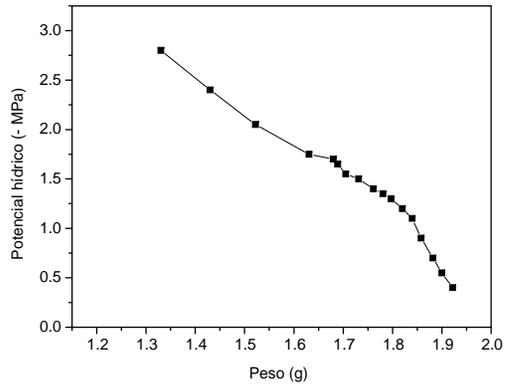
T802



T803



T804



Anexo 3. Determinación del diámetro medio de partículas por el método de tamizado.

