

MODELOS DE SECADO Y TOLERANCIA A LA DESECACIÓN DE SEMILLAS DE *Tectona grandis* L.f. y *Gmelina arborea* Roxb.

DRYING MODELS AND DESICCATION TOLERANCE OF *Tectona grandis* L.f. AND *Gmelina arborea* Roxb. SEEDS

Ender M. Correa¹; Slim C. Alvarez²; Miguel M. Espitia³; Carlos E. Cardona⁴

Fecha de recepción: Febrero 06 de 2013

Fecha de aceptación: Noviembre 15 de 2013

RESUMEN

El secado de semillas es fundamental en el proceso de conservación de recursos fitogenéticos, implica la reducción del contenido de humedad (CH) a niveles recomendados, utilizando técnicas que no deterioren su viabilidad y que contribuyan en la preservación de su calidad fisiológica durante el almacenamiento. El objetivo del trabajo fue estimar modelos de regresión para la predicción de tiempos de secado de semillas con sílica gel y evaluar los efectos de la desecación sobre la calidad fisiológica en semillas de *Tectona grandis* L.f. y *Gmelina arborea* Roxb. Se evaluaron proporciones de sílica gel con respecto al peso de las semillas de 1:1; 1,5:1; 2:1; 2,5:1 y 3:1, cada 24 horas durante 10 días, monitoreando el CH de las semillas. Para cada proporción de sílica gel se estimaron ecuaciones de regresión y para la selección de los mejores modelos se utilizaron el coeficiente de determinación (R^2), el cuadrado medio del error (CME) y el coeficiente de variación (CV) como criterios estadísticos. Las ecuaciones fueron validadas y posteriormente empleadas para la determinación del tiempo de secado requerido para la obtención de CH entre el 3% y 6,5%, que sirvieron como base para determinar la tolerancia a la desecación. El empleo de la sílica gel permitió desecaciones superiores al 62% del CH inicial, se obtuvieron ecuaciones altamente significativas ($P < 0,01$) de buen ajuste ($R^2 \geq 0,94$), y los parámetros de germinación no mostraron detrimento a los tratamientos de secado, con lo que se confirma la condición ortodoxa de estas semillas.

Palabras clave: Semillas, germinación, predicción de secado, sílica gel, desecación.

1 Investigador Master, I.A, M.Sc., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Montería, Colombia. endermanz@hotmail.com, ecorrea@corpoica.org.co.

2 Docente, Ingeniero Agrónomo, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Montería, Colombia. alvaslim@hotmail.com

3 Docente Investigadores, Ph.D., Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. mespita37@hotmail.com

4 Docente, M.Sc. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. ccardonaayala@yahoo.com.

ABSTRACT

Seed drying is very important in the conservation process of forest genetic resources, it implies the reduction of humidity content (HC) to the recommended levels by utilizing techniques that do not deteriorate its viability and contribute to the preservation of its physiological quality during storage. The object of this study was to estimate regression models to predict seed drying time with silica gel, as well as evaluate desiccation effects on the physiological quality of *Tectona grandis* L.f and *Gmelia arborea* Roxb seeds. Silica gel proportions were evaluated in terms of seed weight 1:1; 1.5:1; 2:1; 2.5:1, and 3:1 every 24 hours during 10 days, while monitoring the HC of the seeds. For every silica gel proportion, regression equation selection was based on the variation coefficient (VC), determination coefficient (R²), and mean squares of error (MSE). The equations were validated and subsequently used to determine the drying time required for obtaining a HC between 3% and 6.5%; furthermore, they were useful as a basis to determine desiccation tolerance. The use of silica gel allowed average desiccation percentages greater than 62% of the initial HC. Furthermore, highly significant equations ($P < 0.01$) with good adjustment ($R^2 \geq 0.94$) were obtained, and germination parameters did not show detriment with the drying treatments, confirming the orthodox condition of these seeds.

Keywords: Seeds, germination, drying prediction, silica gel, desiccation.

INTRODUCCIÓN

El departamento de Córdoba cuenta con cerca de 900000 ha con aptitud forestal, de las cuales 426000 ha presentan suelos de mediana a alta fertilidad. Actualmente, en el departamento existen 30 mil ha aproximadamente en plantaciones comerciales (3,25% del área de aptitud forestal del departamento), cuya base está compuesta por especies maderables nativas e introducidas (*Tectona grandis* Linn. f, *Gmelina arborea* Roxb. y *Acacia mangium* Willd.), que representan un 57,5% del área total plantada comercialmente, señalando la importancia de estas tres especies en la actividad forestal del departamento. Se tienen programados para el 2030 unas 100 mil ha cultivadas, con especies nativas y foráneas (CFC, 2011).

La semilla sexual en la actividad reforestadora es la alternativa más utilizada para la producción del material vegetal, sobre todo en aquellas especies donde la propagación asexual está limitada por diversos factores intrínsecos de la especie, de allí que la conservación de la calidad de las semillas hace parte importante del proceso productivo. La mayoría de las especies forestales del trópico, se propagan mediante la semilla sexual y su calidad influye de manera significativa en el éxito de la producción y productividad de las plantaciones. Por ello, para el Caribe húmedo la conservación de las semillas es de gran importancia, dado que presenta condiciones ambientales de alta humedad relativa (85% HR) y temperatura (> 27 °C), que influyen significativamente en la calidad de las semillas (Rodríguez, 2000; Trujillo, 2001; Aramendiz *et al.*, 2007).

El contenido de humedad y la temperatura son las variables de mayor importancia en la conservación de las semillas (Cardozo *et al.*, 2002). De acuerdo a estos factores, se han definido tres categorías para el almacenamiento de semillas que son: ortodoxas, recalcitrantes e intermedias (Roberts, 1973; Ellis *et al.*, 1990a; Ellis *et al.*, 1990b). Las primeras, toleran la desecación hasta un bajo contenido de humedad, bajas temperaturas y se pueden almacenar generalmente durante períodos muy largos; las segundas, son susceptibles a la desecación y las de las especies tropicales pueden dañarse también por exposición a bajas temperaturas y las terceras, son aquellas semillas que no encajan en ninguna de las categorías anteriores.

Estas pueden desecarse, aunque no a tan bajos niveles como las semillas ortodoxas y con frecuencia son sensibles al frío (Pereira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012; FAO *et al.*, 2007; Magnitskiy y Plaza, 2007; Thomsen, 2000). Estas diferencias en el comportamiento de las semillas pueden ser consideradas como un resultado del proceso de selección natural, de conformidad con las condiciones del entorno en el que las especies evolucionaron (Rodrigues *et al.*, 2005). Para las especies forestales *Tectona grandis* L. f. y *Gmelina arborea* Roxb., las semillas son consideradas de comportamiento ortodoxo.

Semillas de *T. grandis* pueden almacenarse por varios años con un contenido de humedad menor del 10% (Trujillo, 2007; SIRE, 1999) y semillas de *G. arborea*, se almacenan en cuarto frío a temperatura de 4 °C y contenidos de humedad entre 6 y 10% para conservar su viabilidad hasta por 7 años (Trujillo, 2007; SIRE, 2000).

El secado de semillas implica la reducción del contenido de humedad a niveles recomendados, utilizando técnicas que no deterioren su viabilidad, eviten el deterioro, calentamiento e infestación durante su almacenamiento. Existen varios métodos para secar las semillas. Algunos métodos de secado para conservación de germoplasma implican altas temperaturas del aire (35 °C - 45 °C), que afectan negativamente la integridad y viabilidad de la semilla. Los métodos más comunes y seguros son el secado mediante la deshumidificación y el secado con gel de sílice. En semillas, gel de sílice sirve para secar muestras pequeñas. El procedimiento consiste básicamente en colocar gel de sílice autoindicador, azul y seco en un desecador o frasco de vidrio con sello hermético. El peso del gel de sílice utilizado debe ser igual al de las semillas para lograr un secado eficiente (Rao *et al.*, 2007; Zhang y Tao, 1989).

Las semillas pueden deteriorarse al ser sometidas a una alta desecación; destacándose entre los factores que determinan este comportamiento el origen de la semilla, la especie y la temperatura (Vertucci y Roos, 1990). Someter las semillas a pruebas de tolerancia a la desecación es un prerrequisito para seleccionar el régimen de secado apropiado si no se conoce aún cómo se comportan frente a la desecación. Esta se puede valorar midiendo el porcentaje de germinación a diferentes intervalos de secado (Rao *et al.*, 2007). La tolerancia a la desecación es una de las más importantes propiedades de la semilla; es una estrategia de adaptación que permite la sobrevivencia de la semilla durante el almacenamiento, condiciones estresantes del ambiente y asegura la diseminación de la especie (Medeiros y Da Eira, 2006).

La tolerancia a la desecación de semillas ha sido valorada en diversas especies arbóreas (Nakagawa *et al.*, 2010, Mireku, 2009, Abreu, 2009, Martins *et al.*, 2009, Carvalho *et al.*, 2008, Delgado y Barbedo, 2007, Daws *et al.*, 2006, Goodman *et al.*, 2005) y otras especies vegetales (Pereira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012; Ramos *et al.* 2003). El uso de la sílica gel ha sido implementada en la evaluación de la tolerancia a la desecación en semillas de cultivares de fríjol, maíz y ajonjolí (Calderón *et al.*, 2005) y en otras semillas como la caléndula *Calendula officinalis* L. y eneldo *Anethum graveolens* L. En estas últimas, se obtuvieron grados de desecación del 2,5% y 2,0% respectivamente, sin que se presentaran pérdidas significativas en los porcentajes de germinación (Victoria *et al.*, 2007).

El objetivo de este trabajo fue seleccionar modelos de regresión, como herramienta operativa para la estimación de tiempos de secado de semillas con sílica gel y evaluar la tolerancia a la desecación de semillas de *T. grandis* y *G. arborea*, como información básica para la conservación óptima del germoplasma de estas importantes especies forestales en el Caribe húmedo colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en 2011 en las instalaciones del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia). Se utilizó la semilla sexual de árboles seleccionados de las especies *T. grandis* (escarificada manualmente) y *G. arborea*, donada por el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas en 2010 en plantaciones comerciales del departamento de Córdoba.

Estimación de curvas de secado de semillas

Se determinó el contenido de humedad (CH) inicial de las semillas mediante el método de secado en horno a temperatura baja constante a 103 ± 2 °C durante 17 ± 1 horas, recomendado por el ISTA (2009) para semillas de especies arbóreas, utilizando ocho (8) repeticiones y cinco (5) semillas por repetición.

Se empleó un sistema de secado consistente en cajas petri selladas herméticamente que contenían sílica gel y semillas aisladas en bolsas de tela porosa. Se evaluaron proporciones de sílica gel con respecto al peso de las semillas de 1:1; 1,5:1; 2:1; 2,5:1 y 3:1 que correspondieron a los tratamientos, bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con seis repeticiones, cinco (5) semillas por repetición y dispuesto en cámara de secado a 23 ± 2 °C. Cada 24 horas hasta el día 10 (240 horas) se renovó la sílica gel y se determinó el contenido de humedad con base al peso de las semillas mediante la siguiente ecuación descrita por Rao *et al.* (2007) para la predicción del tiempo de secado mediante la pérdida de peso:

$$PFS = PIS * [(100-CHi)/(100-CHo)]$$

Donde,

PFS: Peso final de las semillas

PIS: Peso inicial de las semillas

CHi: Contenido de humedad inicial

CHo: Contenido de humedad objetivo

Para la última lectura (240 horas) el CH fue determinado por ambos métodos (ecuación de PFS y método de secado en horno) y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para la determinación del grado de asociación de estos valores. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico

SAS versión 9,2. (SAS, 2008) y sometidos a análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ($P < 0,05$). De igual forma para cada tratamiento se estimaron modelos de regresión y la selección de éstos, se hizo atendiendo los criterios estadísticos coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de variación (CV).

Validación de modelos de regresión

Se empleó un nuevo lote de semillas donde se estimó el CHi por el método de secado en horno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 17 ± 1 horas (ISTA, 2009) y se establecieron ensayos de secado con sílica gel por 48 horas (dos lecturas) de acuerdo a la metodología descrita anteriormente. De igual forma, con el uso de los modelos de regresión seleccionados se estimaron los CH a las 24 y 48 horas. Los datos fueron sometidos a prueba de Chi-cuadrado, siendo los CH esperados y observados los estimados por los modelos de regresión y los obtenidos en el nuevo ensayo de secado con sílica gel respectivamente.

Sensibilidad de semillas a la desecación

Se determinó el CHi de las semillas (método secado en horno) y posteriormente con el uso de modelos de regresión validados por especie, se estimaron los tiempos de exposición de las semillas a sílica gel para alcanzar contenidos de humedad de 6,5%, 5,0% y 3,0% en *T. grandis* y 6,0%, 4,0% y 3,0% en *G. arborea*. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro (4) tratamientos e igual número de repeticiones con 30 semillas por unidad experimental. La germinación fue valorada durante 31 días y debido a la dureza del mesocarpo de los frutos y la dificultad de extracción de sus semillas que son pequeñas y delicadas, cada fruto fue tratado como una semilla (Kaosa-Ard, 1986),

criterio considerado común para varias especies forestales, de acuerdo con Figliolia *et al.* (1993). Los parámetros de germinación evaluados fueron:

Porcentaje de germinación (PG) porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo.

Índice de velocidad de germinación (IVG), calculada mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962) y los descritos por Czabator (1962) tales como:

Germinación diaria media (GDM), porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo dividido por el número de días que transcurren desde la siembra hasta el término del ensayo.

Valor pico (VP), que es la GDM máxima que se alcanza en cualquier momento del periodo del ensayo.

Valor de germinación (VG), corresponde al producto de la GDM con el VM.

Los parámetros de germinación fueron sometidos a ANDEVA y pruebas de comparación de medias Tukey ($P > 0,05$), mediante el uso del programa estadísticos SAS versión 9,2 (SAS, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas especies se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para el contenido de humedad (CH) de las semillas, entre las proporciones de sílica gel, en todas las lecturas. Así mismo, se observó una disminución del contenido de humedad de

las semillas al utilizar mayores cantidades de sílica gel, aunque para las proporciones 2,5:1 y 3,0:1, esta respuesta no es evidente (Tab. 1). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en semillas de *Calendula officinalis* L. y *Anethum graveolens* L. por Victoria *et al.* (2007), donde las mayores proporciones

de sílica gel evaluadas presentaron los mayores porcentajes de desecación, lo cual es concordante con lo expresado por Rao *et al.* (2007), quienes indican que con relaciones más altas de gel a semilla (3:1), se obtienen secados más rápidos.

Tabla 1. Contenido de humedad de semillas de *G. arborea* y *T. grandis* secadas bajo diferentes proporciones de sílica gel.

<i>G. arborea</i> ; CHI = 11,11%										
Propor- ción*	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1,0:1	7,65 c	6,01 c	5,10 c	4,42 b	4,21 b	3,90 c	3,81 c	3,67 c	3,46 c	3,41 c
1,5:1	7,17 b	5,60 bc	4,72 bc	3,96 ab	3,62 a	3,37 b	3,22 b	3,05 b	2,86 b	2,76 b
2,0:1	6,89 ab	5,26 ab	4,38 ab	3,73 a	3,38 a	3,00 ab	2,85 ab	2,71 ab	2,50 ab	2,43 ab
2,5:1	6,66 a	5,04 a	4,16 a	3,58 a	3,23 a	2,88 a	2,78 a	2,61 a	2,37 a	2,25 a
3,0:1	6,75 ab	5,13 ab	4,25 ab	3,67 a	3,24 a	2,85 a	2,78 ab	2,62 ab	2,41 a	2,30 a
<i>T. grandis</i> ; CHI = 11,00%										
1,0:1	7,12 d	5,41 c	4,85 c	4,31 d	4,39 d	4,03 c	3,78 c	3,62 c	3,79 c	4,09 d
1,5:1	6,31 c	4,37 b	3,81 b	3,59 c	3,48 c	3,06 b	2,99 b	2,81 b	2,82 b	3,10 c
2,0:1	5,82 b	3,79 a	3,21 a	2,95 b	2,56 b	2,31 a	2,08 a	2,10 a	2,14 a	2,24 b
2,5:1	5,33 a	3,46 a	2,83 a	2,44 ab	2,32 ab	2,14 a	1,89 a	1,73 a	1,72 a	1,93 ab
3,0:1	5,17 a	3,45 a	2,71 a	2,36 a	2,10 a	1,86 a	1,70 a	1,74 a	1,65 a	1,65 a

*proporción sílica gel: semilla; CHI: contenido de humedad inicial de las semillas. Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5%.

A las 24 horas de exposición a la sílica gel, las semillas presentaron en promedio una disminución en su CHI del 45,9% y 36,8% para *T. grandis* y *G. arborea* respectivamente, de igual forma en ambas especies, se muestra un porcentaje de pérdida de CH diario promedio menor del 4% a partir de las 120 horas (Fig. 1), indicando que a los cinco (5) días de

secado con la sílica, estas semillas inician a estabilizar y/o a mantener en equilibrio su contenido de humedad. Al respecto, Rao *et al.* (2007) señalan que al principio, la mayoría de las semillas se secan rápidamente y la tasa de secado es más lenta a medida que se reduce a un contenido de humedad bajo.

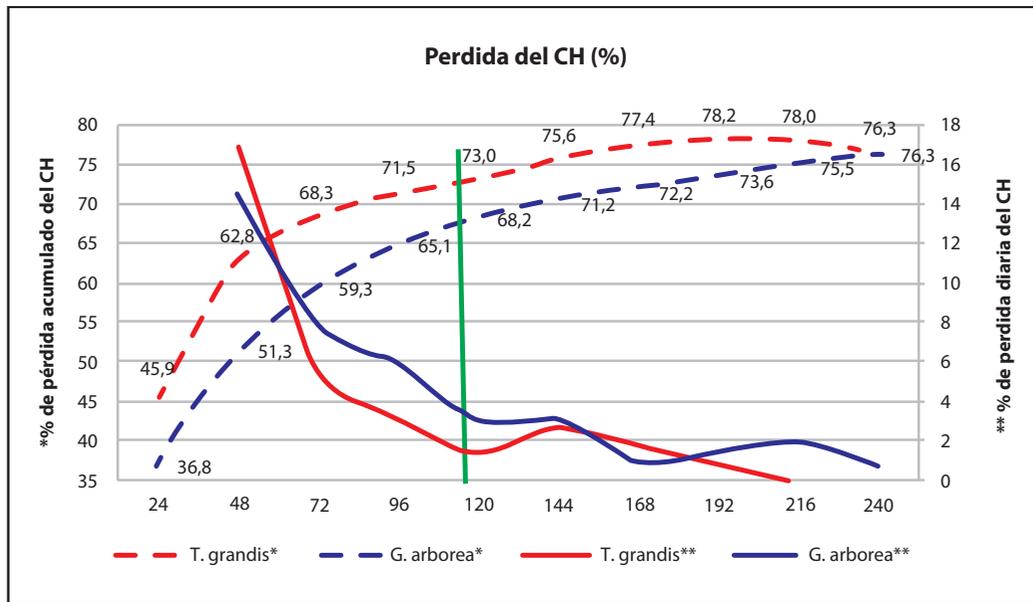


Figura 1. Porcentaje de pérdida promedio diaria y acumulada en relación al contenido de humedad inicial, en semillas de *T. grandis* y *G. arborea* secadas con sílica gel.

*líneas punteadas indican el porcentaje de pérdida acumulada del CH

**líneas continuas indican el porcentaje de pérdida diaria del CH

En semillas de *T. grandis* las proporciones de sílica gel evaluadas alcanzaron un porcentaje de desecación entre el 62,8% y 85,0% de su CHI a los 10 días de secado; mientras que en *G. arborea* fue entre 69,3% y 79,3% del CHI. La tendencia del secado en semillas en ambas especies fue similar, sin embargo, la mayor desecación presentada por semillas de *T. grandis*, posiblemente se debe a que se utilizaron semillas escarificadas (con remoción del mesocarpo), cuya condición pudo haber favorecido la acción desecante de la sílica gel.

Los CH estimados con los métodos de secado en horno y la ecuación de peso final de semillas (PFS) presentaron correlaciones de 0,97 ($P < 0,0001$) y 0,87 ($P < 0,0001$) en semillas de *T. grandis* y *G. arborea*, respectivamente. Estas altas y significativas correlaciones indican una fuerte asociación entre los métodos de

estimación del contenido de humedad en semillas y por ende, esta ecuación puede ser utilizada como método de monitoreo del CH en semillas de *T. grandis* y *G. arborea*. La ecuación de PFS, es un método no destructivo que permite un mejor monitoreo al CH en semillas, ya que se puede hacer seguimiento a la acción de tratamientos de secado sobre una misma unidad de semillas (unidad experimental), lo cual es de gran interés para bancos de germoplasma y programas de conservación de recursos fitogenéticos que presenten limitaciones en la cantidad de semillas.

La pérdida de humedad se ajustó a modelos cuadráticos altamente significativos ($P < 0,01$), en cada especie se seleccionó un modelo de regresión por proporción de sílica gel. En semillas de *Gmelina arborea* se presentaron coeficientes de variación (CV) entre el 7,25%

y 10,93% y coeficientes de determinación (R^2) del 0,97 y en *Tectona grandis* los CV estuvieron entre el 9,79% y 20,78% y R^2 de 0,94 (Tab. 2). Vertel (2004), señala que el CV es útil para evaluar la precisión de los ensayos, mientras que el R^2 indica el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra, además considera que para la experimentación agropecuaria una alta precisión es dada por $CV < 10\%$ y CV entre el 10% y 20% como una precisión media. Por consiguiente, las ecuaciones de regresión obtenidas en esta investigación presentan

una alta precisión para las proporciones de sílica gel semilla de 1:1 a 2,5:1 en *Gmelina arborea* y en la proporción 1:1 en *Tectona grandis*, y una buena explicación de la variación de los datos, dada por los altos R^2 . Delgado y Barbedo (2007), reportaron R^2 de 0,88; 0,71 y 0,87 para modelos de secado con sílica gel en semillas de *Eugenia uniflora* L., *E. brasiliensis* Lam biotipo púrpura y *E. brasiliensis* biotipo amarillo respectivamente, los cuales, fueron inferiores a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 2. Ecuaciones de modelos de regresión seleccionados para la estimación del tiempo de secado con sílica gel en semillas de *G. arborea* y *T. grandis*.

Modelo*	CME	R^2	CV	ECUACIÓN DE REGRESIÓN						
<i>G. arborea</i>										
1,0:1	0,14	0,97	7,25	10,777614	-0,129972	X	0,000807	X ²	-0,000002	X ³
1,5:1	0,16	0,97	8,67	10,669213	-0,138106	X	0,000858	X ²	-0,000002	X ³
2,0:1	0,18	0,97	9,81	10,593432	-0,143962	X	0,000900	X ²	-0,000002	X ³
2,5:1	0,17	0,97	9,86	10,549093	-0,150309	X	0,000966	X ²	-0,000002	X ³
3,0:1	0,21	0,97	10,93	10,563865	-0,147300	X	0,000931	X ²	-0,000002	X ³
<i>T. grandis</i>										
1,0:1	0,25	0,94	9,79	10,449071	-0,130812	X	0,000831	X ²	-0,000002	X ³
1,5:1	0,37	0,94	14,07	10,289575	-0,154625	X	0,001034	X ²	-0,000002	X ³
2,0:1	0,39	0,94	17,27	10,226457	-0,169095	X	0,001127	X ²	-0,000002	X ³
2,5:1	0,47	0,94	20,51	10,115843	-0,178746	X	0,001221	X ²	-0,000003	X ³
3,0:1	0,45	0,94	20,78	10,115600	-0,182535	X	0,001251	X ²	-0,000003	X ³

*proporción sílica gel: semilla; CME: cuadrado medio del error; R^2 : coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación.

Las curvas o modelos de secado obtenidos, son útiles para predecir el tiempo requerido para la obtención de una humedad determinada, a partir del contenido inicial de ésta, de acuerdo con el procedimiento indicado por Rao *et al.* (2007). Los modelos obtenidos,

según las proporciones de sílica gel: las semillas, pueden ser utilizadas de acuerdo a la cantidad de sílica disponible así, como de las necesidades de tiempo para el secado de semillas. Al respecto, Victoria *et al.* (2007), señalan que el secado de semillas con sílica

gel es conveniente para bancos que manejen pocas cantidades de semillas y que posean dificultades logísticas como poco espacio físico y limitados recursos tecnológicos y financieros.

La prueba de Chi-cuadrado no acusó diferencias significativas entre los CH observados en el segundo ensayo y los estimados por los modelos de regresión seleccionados (Tab. 3). Estos resultados verifican la utilidad de herramientas estadísticas como los modelos

de regresión para el pronóstico de tiempos de secado en semillas de especies forestales. Regazzi y Leite (1992), señalan que los modelos de regresión deben ser empleados en circunstancias bien definidas, para que el modelo estadístico representen bien el fenómeno analizado, ya que al conocer la verdadera relación entre las variables dependiente e independiente, se pueden hacer inferencias estadísticas precisas con utilidades prácticas para controlar y predecir las respuestas para su estudio.

Tabla 3. Prueba de Chi-cuadrado para validación de contenidos de humedad obtenidos en el secado de semillas de *G. arborea* y *T. grandis* con sílica gel.

Proporción*	24 horas			48 horas		
	Observado	Estimado	X ²	Observado	Estimado	X ²
Especie	<i>G. arborea</i> ; CHi = 11,61%					
1,0:1	8,51	8,10	0,94ns	7,27	6,21	0,57ns
1,5:1	7,94	7,82	0,99ns	6,42	5,82	0,83ns
2,0:1	7,64	7,63	0,99ns	5,96	5,55	0,90ns
2,5:1	7,29	7,47	0,96ns	5,82	5,33	0,83ns
3,0:1	7,39	7,54	0,99ns	5,77	5,42	0,93ns
Especie	<i>T. grandis</i> ; CHi = 10,41%					
1,0:1	7,70	7,76	0,97ns	6,27	5,90	0,87ns
1,5:1	6,81	7,14	0,94ns	5,15	5,01	0,95ns
2,0:1	6,11	6,78	0,81ns	4,67	4,44	0,95ns
2,5:1	5,50	6,49	0,62ns	4,23	4,06	0,90ns
3,0:1	5,55	6,42	0,69ns	4,20	3,94	0,89ns

*proporción sílica gel: semilla; X²: prueba de Chi-cuadrado; ns: no significativo.

En semillas de *T. grandis* los parámetros de germinación no fueron afectados significativamente por los tratamientos de secado, mientras que en semillas de *G. arborea* se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el porcentaje de germinación (PG) y el índice de velocidad de germinación (IVG), anotando que los PG e IVG estadísticamente superiores se obtuvieron en semillas sometidas a tratamientos de secado con sílica

gel (Tab. 4), con lo que se podría inferir que estas especies arbóreas aún no han alcanzado el punto crítico de agua en las semillas. Estos resultados son afines a los obtenidos por Abreu y Medeiros (2005), quienes reportan que semillas de *Sebastiania commersoniana* con CHi del 8,5%, y sometidas a desecación hasta un 2,3% de CH, mantuvieron la germinación con 96% durante el almacenamiento.

Tabla 4. Efecto del contenido de humedad sobre parámetros de germinación de semillas de *G. arborea* y *T. grandis*.

ESPECIE	<i>T. grandis</i>					
	CH (%)	PG	IVG	VG	GDM	VP
Secado*	10,8 (CHo)	42,50 a	1,37 a	2,01 a	2,87 a	1,45 a
	6,5	56,66 a	1,77 a	2,76 a	5,00 a	1,89 a
	5,0	49,16 a	1,53 a	2,77 a	4,47 a	1,92 a
	3,0	50,83 a	1,63 a	3,29 a	5,51 a	2,11 a
<i>G. arborea</i>						
CH (%)	PG	IVG	VG	GDM	VP	
11,7 (CHo)	56,67 b	1,83 b	2,52 a	4,68 a	1,81 a	
6,0	70,83 a	2,28 a	2,70 a	6,25 a	2,02 a	
Secado 4,0	60,83 ab	1,96 ab	2,65 a	5,20 a	1,89 a	
3,0	71,67 a	2,31 a	2,75 a	6,36 a	2,06 a	

Las letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5%.

*contenidos de humedad obtenidos mediante secado con sílica gel; CHo: contenido de humedad original en semillas; PG: porcentaje de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación; VG: valor de germinación; GDM: germinación diaria media; VP: valor pico.

El secado de semillas mejoró los porcentajes de germinación entre 6,66% y 14,16% en *T. grandis* y entre el 4,16% y 15% en *G. arborea*. En *T. grandis* los mayores (56,7%) y menores (42,5%) porcentajes de germinación se obtuvieron con contenidos de humedad en semillas del 6,5% y 10,8% respectivamente, estos resultados son similares a los encontrados por Caldeira *et al.* (2000) con 45,3 y 29,7% de emergencia en frutos con 6,5% y 10,7% de humedad respectivamente. En ambas especies, los valores obtenidos en los parámetros de germinación, indican una respuesta y/o tendencia positiva a los tratamientos de secado evaluados (Tab. 4).

De acuerdo al protocolo propuesto por Hong y Ellis (1996) para determinar el comportamiento de las semillas en almacenamiento, los resultados confirman la condición ortodoxa de las semillas de estas especies reportadas por diversos autores

(Trujillo, 2008; SIRE, 2000; 1999). Al respecto Rao *et al.* (2007) señalan que la sensibilidad a la desecación se puede valorar midiendo el porcentaje de germinación a diferentes intervalos de secado, y son consideradas semillas que toleran la desecación, aquellas que alcancen un CH del 5% o menos, sin mostrar pérdida de viabilidad, indicando que probablemente se comporten en almacenamiento como semillas ortodoxas.

Los parámetros de germinación no presentaron un comportamiento regular con los regímenes de desecación. Este comportamiento diferencial en la sensibilidad a la desecación puede explicarse debido a que el contenido de humedad a la cual la semilla muere, varía entre especies y dentro de la misma especie. En semillas ortodoxas ese contenido fluctúa entre el 3 y 7% (Wesley-Smith *et al.*, 1992). En semillas de cacao *Theobroma cacao* L. se ha determinado que

la sensibilidad a la desecación puede variar entre genotipos (Rangel *et al.*, 2011), mientras que semillas de *Caesalpinia echinata* Lam. son tolerantes a la desecación, pero la sensibilidad al secado puede ser influenciada por la calidad inicial de las semillas (Barbedo *et al.*, 2002). Medeiros y Da Eira (2006), argumentan que las diferencias del comportamiento fisiológico dentro de una misma especie, aún no han sido ampliamente estudiados; entretanto, se considera que esas variaciones pueden responder a diferencias en la maduración de las semillas, a las condiciones de secado, a la genética o al ambiente en que fueron obtenidas. Adicionalmente, las especies en estudio pertenecen a la familia Verbenaceae, las cuales se caracterizan por presentar frutos que contienen entre 1 y 4 semillas, con promedio de 2,2 y 2,0 semillas por fruto para *G. melina* y *T. grandis* respectivamente (Trujillo, 2008; Rojas y Murillo, 2004; Caldeira *et al.*, 2000, Niembro, 1989), lo que le podría conferir mayor probabilidad de germinación ante factores adversos.

CONCLUSIONES

En ambas especies la disminución del contenido de humedad tuvo una relación directa con las proporciones de sílica gel, obteniéndose en promedio porcentajes de desecación superiores al 62% del contenido de humedad inicial a los 10 días e iniciando su estabilización a partir de las 120 horas.

Los modelos de regresión para cada proporción de sílica gel, acusaron significancia de $P < 0,01$ y buen ajuste ($R^2 \geq 0,94$), condición que permite hacer uso de estas ecuaciones como herramienta operativa para la estimación de tiempos de secado de semillas con sílica gel, deseado para el almacenamiento de semillas de *T. grandis* y *G. arborea*.

Los parámetros de germinación, presentaron una respuesta y/o tendencia positiva a la desecación, confirmando la condición ortodoxa de las semillas de estas especies forestales.

BIBLIOGRAFÍA

ABREU, D. 2009. Bases fisiológicas para a conservação a longo prazo de sementes *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 92 p.

ABREU, D. y MEDEIROS, A. 2005. Comportamento fisiológico de sementes de Branquilha *Sebastiania commersoniana*, Euphorbiaceae em relação ao armazenamento. Informativo ABRATES. 15(1): 291.

ARAMENDIZ, H., CARDONA, C., JARMA, A., ROBLES J. y MONTALVÁN, R. 2007. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena *Solanum melongena* L. Agronomía Colombiana. 25(1):104 - 112.

BARBEDO, C., BILIA, D. y FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. 2002. Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), espécie da Mata Atlântica. Brazilian Journal of Botany. 25(4):431 - 439.

CADENA FORESTAL DE CÓRDOBA - CFC. 2011. Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo). 55 p.

CALDEIRA, S., CALDEIRA, S., DE MENDOÇA, E. y DINIZ, N. 2000. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca *Tectona grandis* L.f. produzidos no Mato Grosso. Revista Brasileira de Sementes. 22(1):216 - 224.

- CALDERÓN, S., FRAGA, N., HERNÁNDEZ, E., ALONSO, M. y FIGUEROA, M. 2005. Determinación de la resistencia a la desecación en semillas de especies hortícolas mediante el empleo de sílica gel en campana de cristal. *Revista Agrotecnia de Cuba*. 1 - 8 p.
- CARDOZO, C., LÓPEZ, Y. y GUEVARA, C. 2002. Estudio de deterioro de semilla en condiciones controladas de conservación. *Acta agronómica*. 51:89 - 101.
- CARVALHO, L., DAVIDE, A., DA SILVA, E. y DE CARVALHO, M. 2008. Classificação de sementes de espécies florestais dos gêneros *Nectandra* e *Ocotea* (Lauraceae) quanto ao comportamento no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*. 30(1):1 - 9.
- CZABATOR, F. 1962. "Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination". *Forest Science*. 8(4):386 - 396.
- DAWS, M., GARWOOD, N. y PRITCHARD, W. 2006. Prediction of Desiccation Sensitivity in Seeds of Woody Species: A Probabilistic Model Based on Two Seed Traits and 104 Species. *Annals of Botany*. 97:667 - 674.
- DELGADO, L. y BARBEDO, C. 2007. Tolerância à dessecação de sementes de espécies de *Eugenia*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42(2):265 - 272.
- ELLIS, H., HONG, D. y ROBERTS, H. 1990a. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. *Journal Experimental Botany*. 41(230):1167 - 1174.
- ELLIS, H., HONG, D. y ROBERTS, H. 1990b. An intermediate category of seed storage behaviour? II. Effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccation tolerance in coffee. *Journal Experimental Botany*. 42(238):653 - 657.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), FLD, BIOVERSITY INTERNATIONAL. 2007. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: en plantaciones y bancos de germoplasma (ex situ). Disponible en: http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/1298_Conservaci%C3%B3n_y_manejo_de_los_recurso_geneticos_forestales_vol_3.pdf; consulta: Febrero, 2012.
- FIGLIOLIA, M., OLIVEIRA, E. y PIÑA-RODRIGUES, F. 1993. Análise de sementes. En: Aguiar, I.B.; Piña-Rodrigues, F.C.M. & Figliolia, M.B. (coords.). *Sementes florestais Tropicais*. Brasília: Abrates. 137 - 174 p.
- GOODMAN, R., JACOBS, D. y KARRFALT, R. 2005. Evaluating desiccation sensitivity of *Quercus rubra* acorns using X-ray image analysis. *Canadian Journal of Forest Research*. 35(12): 2823 - 2831.
- HONG, D. y ELLIS, H. 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. IPGRI. Disponible en: http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/137_A_protocol_to_determine_seed_storage_behaviour.pdf; consulta: Febrero, 2012.
- INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING. (ISTA). 2009. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 363 p.
- KAOSA-ARD, A. 1986. Teak (*Tectona grandis* Linn.f.), nursery techniques, with special reference to Thailand. Humiebaek, Denmark: Danida Forest Seed Centre, 42 p.
- MAGNITSKIY, S. y PLAZA, G. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*. 25(1):96 - 103.

- MAGUIRE, D. 1962. Speed of germination-aid. In: Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*. 2:176 - 177.
- MARTINS, C., BOVI, M., NAKAGAWA, J. y MACHADO, C. 2009. Secagem e armazenamento de sementes de Juçara. *Revista Árvore*, Viçosa-MG. 33(4):635 - 642.
- MEDEIROS, A. y DA EIRA, M. 2006. Comportamento Fisiológico, Secagem e Armazenamento de Sementes Florestais Nativas. Disponible en: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41479/1/circ-tec127.pdf>, consulta: febrero, 2012.
- MIREKU, J. 2009. Seed desiccation tolerance and germination of seven important forest tree species in Ghana. Thesis Doctor of Physiology, Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST), Kumasi- Ghana. 212 p.
- NAKAGAWA, J., MORI, E., PINTO, C., FERNANDES, K., SEKI, M. y MENEGHETTI, R. 2010. Maturação e secagem de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert (Canafístula). *Revista Árvore*. 34(1):49 - 56.
- NIEMBRO, A. 1989. Semillas de plantas leñosas: Morfología comparada. Editorial Limusa, México, 224 p.
- PEREIRA, W., FARIA, J., TONETTI, O. y SILVA, E. 2012. Desiccation tolerance of *Tapirira obtusa* seeds collected from different environments. *Revista Brasileira de Sementes*. 34(3):388 - 396.
- RAMOS, C., MOLINA, J. y GARCIA, G. 2003. Tolerancia a desecación y deterioro fisiológico en semillas de calabaza (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Lam.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(3):161 - 166.
- RANGEL, M., CÓRDOVA, L., LÓPEZ, A., DELGADO, A., ZAVALA, H. y VILLEGAS, A. 2011. Tolerancia a la desecación en semillas de tres orígenes genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(3):175 - 182.
- RAO, N., HANSON, J., DULLOO, M., GHOSH, K., NOVELL, D. y LARINDE, M. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Disponible en: http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/1261_Manual_para_el_Manejo_de_Semillas_en_Bancos_de_Germoplasma.pdf, consulta: enero, 2012.
- REGAZZI, A. y LEITE, H. 1992. Análise de regressão: Teoria à aplicação em manejo florestal. Viçosa, MG. 236 p.
- ROBERTS, H. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*. 1(4):499 - 514.
- RODRIGUES, R., DAVIDE, A., AMARAL DA SILVA, E. y ROCHA, J. 2005. Efeito das secagens lenta e rápida em sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) Cerne, Universidade Federal de Lavras. 11(4):329 - 335.
- RODRÍGUEZ, J. 2000. Protocolos de germinación para la certificación de semillas forestales. CONIF. Serie técnica No. 46. 54 p.
- ROJAS, F. y MURILLO, O. 2004. Botánica y Ecología. En: Rojas, F.; Arias, D.; Moya, R.; Meza, A.; Olman, M. y Arguedas, M. (Ed). Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica, Cartago. 3-21 p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, (SAS). 2008. Statistical Analysis System Institute Inc SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC. 7880 p.

- SILVA, K., ALVES, E., BRUNO, R. y CARDOSO, E. 2012. Tolerância à dessecação em sementes de *Bunchosia armenica* (Cav.) DC. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina. 33(4):1403 - 1410.
- SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ (SIRE). 1999. *Tectona grandis* L.f. Paquetes tecnológicos. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/1012Tectona%20grandis.pdf>, consulta: Abril, 2009.
- SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ (SIRE). 2000. *Gmelina arborea* Roxb. Paquetes tecnológicos. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/924Gmelina%20arborea.pdf>, consulta: Abril, 2009.
- THOMSEN, K. 2000. Handling of desiccation and temperature sensitive tree seeds. Disponible en: http://curis.ku.dk/ws/files/20711281/technical_note_56.pdf, consulta: enero, 2012.
- TRUJILLO, E. 2001. Almacenamiento de semillas forestales: principios y procedimiento. En: *Recolección y procesamiento de semillas forestales*. Serie técnica No. 34. 21-32 p.
- TRUJILLO, E. 2007. Guía de reforestación. 2da Edición. Los árboles. Adaptación, características, producción, usos, manual de vivero, plantación y manejo silvicultural. 278 p.
- TRUJILLO, E. 2008. Propagación por semilla de la Teca (*Tectona grandis* L.f.). Proyecto "Desarrollo de un paquete tecnológico para la producción y certificación de material forestal reproductivo de teca (*Tectona grandis* L.f.) para la Costa Atlántica Colombiana. 32 p.
- VERTEL, M. 2004. Diseño y análisis de experimentos en ciencias agroindustriales. Libro de texto universitario, Universidad de Sucre, Colombia. 218 p.
- VERTUCCI, W. y ROOS, E. 1990. Theoretical basis of protocols for seed storage. *Plant Physiology*. 94:1019 - 1023.
- VICTORIA, J., BONILLA, C. y SÁNCHEZ, M. 2007. Morfología y efecto del secado en la germinación de caléndula y eneldo. *Acta Agronómica*. 56(2):61 - 68.
- WESLEY-SMITH, J., VERTUCCI, C., BERJAK, P., PAMMENTER, N. y CRANE, J. 1992. Cryopreservation of desiccation-sensitive axes of *Camellia sinensis* in relation to dehydration, freezing rate and the thermal properties of tissue water. *Journal of Plant Physiology* 140(5):596 - 604.
- ZHANG, X-Y. y TAO, K-L. 1989. Silica gel seed drying for germoplasm conservation: practical guidelines. *Plant Genetic Resources Newsletter, Bulletin des Ressources Genetiques Vegetales*, 75 - 76:1 - 5.